



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

**ODBOR ZNALECTVÍ VE STAVEBNICTVÍ A OCEŇOVÁNÍ
NEMOVITOSTÍ**

DEPARTMENT OF EXPERTISE IN CIVIL ENGINEERING AND REAL ESTATE APPRAISAL

**POSOUZENÍ NÁVRATNOSTI INVESTICE DO
ENERGETICKY ÚSPORNÉHO A STANDARDNÍHO
RODINNÉHO DOMU**

ASSESSMENT OF ROI IN A PASSIVE AND STANDARD HOUSE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Lukáš Ruber

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Hrdlička

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Student: **Ing. Lukáš Ruber**
Studijní program: Soudní inženýrství
Studijní obor: Realitní inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Hrdlička**
Akademický rok: 2018/19
Ústav: Odbor znalectví ve stavebnictví a oceňování nemovitostí

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Posouzení návratnosti investice do energeticky úsporného a standardního rodinného domu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na vybraných rodinných domech budou formou podrobných položkových rozpočtů určeny vícenáklady na splnění pasivního standardu stavby. Uvažováno nebude pouze zlepšení obálky budovy, ale i nutná změna zdroje tepla a instalace nuceného větrání. Součástí práce bude také energetické posouzení ve vhodném software, ze kterého bude patrné roční dodané množství energie.

Jednotlivé případy je vhodné variantně také posoudit se zohledněním možnosti získání dotace (např. Nová zelená úsporám).

Cíle diplomové práce:

Cílem je komplexní komparativní ekonomické zhodnocení investice do energeticky úsporných domů oproti běžné výstavbě.

Seznam doporučené literatury:

BRADÁČ, A. Teorie a praxe oceňování nemovitých věcí. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2016. ISBN 978-80-7204-930-1.

ČSN 73 0540: 2. Tepelná ochrana budov- Část 2:požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 56 s. Třídící znak 89 012

TYWONIAK, J. Nízkoenergetické domy, nulové, pasivní a další. Praha: Grada Publishing, 2012. 204 s. ISBN 978-80-247-3832-1

SMOLA, J. Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů. Praha: Grada Publishing, 2011. 352 s. ISBN 978-80-247-2995-4

VALACH, J. Investiční rozhodování a dlouhodobé financování. 3., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Ekopress, 2010. ISBN 978-80-86929-71-2

The appraisal of real estate. 14th ed. Chicago: Appraisal Institute, 2013, xii, 847 s. : il. ISBN 978--935328-38-4

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

Ing. Milada Komosná, Ph.D.
vedoucí odboru

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
ředitel

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá posouzením návratnosti ekonomické investice do pasivní stavby v porovnání oproti stavbě nízkoenergetické (standardní). V práci je uvedena problematika pasivní výstavby, vývoj, koncepce a rozdělení konstrukčních částí včetně použitých materiálů. Jsou zde krátce rozebrány jejich výhody, úskalí a možnosti užití při výstavbě.

Hlavní část práce se zaměřuje na ekonomickou návratnost investice do pasivní stavby. Na základě podrobné kalkulace jsou zde vyčísleny náklady na dvě stavby v nízkoenergetickém a pasivním standardu. Pasivního standardu je dosaženo různými konstrukčními úpravami. To vše je podloženo softwarovým výpočtem roční spotřeby energie. Z této bilance je poté více způsoby stanovena návratnost takovéto investice i se zohledněním vývoje cen energií.

Abstract

The thesis deals with the assessment of the return on economic investment in passive house compared to the low-energy (standard) house. The thesis deals with the issue of passive house, development, conception and division of structural parts including used materials. Their advantages, disadvantages and possibilities of use in construction are briefly discussed.

The main part of the thesis focuses on the economic return on investment in passive house. Based on a detailed calculation, the costs for two buildings in low-energy and passive standards are quantified here. The passive standard is achieved by various design modifications. All this is supported by software calculation of annual energy consumption. The return on such an investment is then determined in more ways from this balance sheet, taking into account the evolution of energy prices.

Klíčová slova

Pasivní dům, spotřeba energií, návratnost investice, položkový rozpočet, vývoj cen energie

Keywords

Passive house, energy consumption, return on investment, detailed calculation, energy price development

Bibliografická citace

RUBER, Lukáš. Posouzení návratnosti investice do energeticky úsporného a standardního rodinného domu [online]. Brno, 2019. 96s. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/112530>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Odbor znaleství ve stavebnictví a oceňování nemovitostí. Vedoucí práce Ing. Tomáš Hrdlička.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Název práce“ jsem vypracoval/a samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor/ka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil/a autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl/a nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom/a následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně

.....

Podpis autora

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Tomáši Hrdličkovi za jeho čas, který mi věnoval, za odborné rady, vedení a pomoc, díky kterým jsem mohl zpracovat diplomovou práci.

1 OBSAH

2	ÚVOD.....	9
3	NÍZKOENERGETICKÉ A PASIVNÍ STAVBY.....	10
3.1	Historie a vývoj nízkoenergetických staveb	10
3.1.1	Počátky hospodaření s energiemi ve výstavbě.....	13
3.1.2	Rozvoj pasivních domů.....	17
3.2	Parametry pasivního a nízkoenergetického domu.....	20
3.2.1	Energetické zdroje.....	20
3.2.2	Ekologická stopa	21
3.2.3	Tepelná ztráta a součinitel prostupu tepla.....	22
3.2.4	Průvzdušnost obálky.....	24
3.2.5	Hodnocení energetické náročnosti budov.....	25
3.2.6	Definice pasivního domu	26
3.2.7	Budovy s téměř nulovou spotřebou energie.....	29
3.3	Zásady pro návrh pasivních staveb	30
3.3.1	Situování ke světovým stranám a orientace na pozemku	31
3.3.2	Tvar a dispozice.....	31
3.3.3	Konstrukční řešení.....	32
3.3.4	Tepelné mosty.....	39
3.3.5	Větrání.....	41
3.3.6	Nutné změny z NED a PD	43
4	POSOUZENÍ EKONOMICKÉ NÁVRATNOSTI INVESTICE DO PASIVNÍHO DOMU	44
4.1	Úvod do problematiky.....	44
4.2	Dotace nová zelená úsporám	44
4.3	Prostá návratnost.....	46
4.4	Čistá současná hodnota	46
4.5	Vnitřní výnosové procento.....	47
4.6	Výchozí předpoklady.....	47
5	STANOVENÍ DOBY NÁVRATNOSTI INVESTICE	48
5.1	Rodinný dům 1 – Stavba s podkrovím	49
5.1.1	Stručný popis stavby.....	49
5.1.2	Energetická náročnost standardního domu	52
5.1.3	Náklady na dům ve standardním provedení.....	53
5.1.4	Změny nutné k dosažení parametrů pasivní stavby	54
5.1.5	Náklady na dům v pasivním provedení – po úpravách	56

5.1.6	<i>Energetická náročnost na dům v pasivním provedení</i>	56
5.1.7	<i>Bilance změn</i>	57
5.1.8	<i>Cena elektrické energie</i>	59
5.1.9	<i>Prostá návratnost</i>	61
5.1.10	<i>Čistá současná hodnota</i>	67
5.1.11	<i>Vnitřní výnosové procento</i>	70
5.2	<i>Rodinný dům 2 – Dvojpodlažní stavba se sedlovou střechou</i>	71
5.2.1	<i>Stručný popis stavby</i>	71
5.2.2	<i>Energetická náročnost standardního domu</i>	72
5.2.3	<i>Náklady na dům ve standardním provedení</i>	72
5.2.4	<i>Změny nutné k dosažení parametrů pasivní stavby</i>	73
5.2.5	<i>Náklady na dům v pasivním provedení – po úpravách</i>	75
5.2.6	<i>Energetická náročnost na dům v pasivním provedení</i>	75
5.2.7	<i>Cena elektrické energie</i>	76
5.2.8	<i>Prostá návratnost</i>	76
5.2.9	<i>Čistá současná hodnota</i>	82
5.2.10	<i>Vnitřní výnosové procento</i>	84
5.3	<i>Porovnání staveb</i>	85
5.4	<i>Analýza výsledků</i>	87
6	<i>ZÁVĚR</i>	89
	<i>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</i>	90
	<i>SEZNAM TABULEK</i>	93
	<i>SEZNAM GRAFŮ</i>	94
	<i>SEZNAM OBRÁZKŮ</i>	95
	<i>SEZNAM ZKRATEK</i>	96
	<i>SEZNAM PŘÍLOH</i>	96

2 ÚVOD

Vzhledem k tomu, že stavební objekty spotřebovávají téměř polovinu celkově vyrobených energií, tak tato filozofie stavění jednoznačně není bezvýznamnou. Snižování spotřeby energie staveb je tedy zcela logické a odpovědí je výstavba domů v pasivním standardu. Touto problematikou se delší dobu zabývá i Evropská komise, která již vydala směrnici o možnostech výstavby nových domů, tím udává jasný směr a vede k jednoznačným úsporám. Nově se od roku 2020 budou moci stavět pouze domy s téměř nulovou spotřebou energie, tento pojem bude ještě dále rozebrán, každopádně bude do budoucna výstavbu jiných domů vylučovat. Stavba těchto požadavků nicméně bude moci dosáhnout i bez splnění pasivního standardu.

V současné době je pouze na investorovi zda se pro pasivní stavbu rozhodne, nebo ne. Trend poslední doby, který klade důraz na snižování energetické náročnosti je nicméně zcela zjevně patrný. To se týká jak novostaveb tak rekonstrukcí. Ty jsou právě často zaměřeny na snižování spotřeby energie, jednak zlepšováním technických parametrů obálky, ale i změnou zdroje vytápění a dalších technologií.

Cílem této práce je jednak rozebrání problematiky a koncepce pasivních domů a dále hlavně zhodnocení investice prostředků do pasivní stavby. Pasivní domy se vyznačují mimo úsporu energie i řadou dalších výhod, od celkové kvality bydlení, zdravějšího vnitřního klimatu, větší nezávislosti na energiích, komfortu až po určitou prestiž. To vše přináší nespornou přidanou hodnotu, která jistě z pohledu investora není bezvýznamná. Předmětem této práce především je zhodnocení ekonomické návratnosti investice. V první řadě je třeba stanovit jaká je vůbec výše investice oproti běžnému, nízkoenergetickému domu. Jaká je životnost technologických systémů a jaké změny vůbec přinášejí. V souvislosti s tím je nutné stanovit úsporu energie oproti nízkoenergetickému domu a z toho tedy vyčíslit ekonomickou návratnost investice. Pro tyto účely jsou vybrány dvě různé stavby, podrobně vyčísleny jejich pořizovací náklady, posouzeno množství roční dodané energie a zohledněny různé okolnosti jako například dotace nebo předpokládaný vývoj cen energií pro pasivní a nízkoenergetickou variantu.

Motivací ke zkoumání tohoto tématu je pro mě několik. V první řadě je to můj obdiv pasivních, nulových nebo dokonce plusových domů a obecně filozofie takového stavění. Dále současná doba klade velký důraz na úspory energií. K tomu nás vedou jednak rostoucí ceny energií, ale také zmenšující se zásoby neobnovitelných zdrojů na naší planetě. Důležitým faktorem je ochrana přírody a možnost ovlivnění životního prostředí.

3 NÍZKOENERGETICKÉ A PASIVNÍ STAVBY

Pokud se chceme zabývat určitou problematikou, je dobré si vymezit alespoň základní pojmy. Dále je potřeba znát základní principy, koncepci a vůbec vývoj úsporných staveb. Pojem pasivní a nízkoenergetické domy je na trhu a v podvědomí již několik let. Je to reakce na neustálý růst cen paliv a energií. Mimo tuto prioritní snahu na snižování využití energie a tím snižování nákladů na provoz se také jedná o cestu k šetrnému zacházení s přírodou. Vzhledem k výše uvedenému se dnes staly nízkoenergetické domy jistým standardem v cestě za snižováním nákladů a dopadů na životní prostředí. Dalším krokem v tomto vývoji jsou domy nízkoenergetické, tedy domy pasivní, nulové či dokonce plusové. *„Právě sektor budov je jedinou velkou oblastí v „energetickém koláči“ vyspělých zemí, kde jsou řešení známá a z velké části rovnou použitelná“* (1, s. 11). Úplným úvodem této práce bude pohled na historický vývoj staveb a snahu na úspory energie. V dalším kroku budeme seznámeni s tím, co je pasivní dům, jak je definovaný a jaká je jeho koncepce. V závěru této kapitoly budou rozebrány konstrukční systémy, materiály a technologie používané v moderních pasivních stavbách. To vše by mělo poskytnout dostatečné, základní pochopení problematiky pasivních domů pro další části této práce.

3.1 HISTORIE A VÝVOJ NÍZKOENERGETICKÝCH STAVEB

Snaha ušetřit energii, především na vytápění, sahá hluboko do historie. Již od počátků stavění se lidé pokoušeli ušetřit tepelnou energii snahou zabránit únikům teplot z obydlí. Zkoušeli používat jednak různé materiály jako dřevo, seno a slámu. Dále se také uplatňovaly různé koncepce řešení, jako byly společné místnosti s kuchyní, nebo společné místnosti s dobyt看em. Výjimkou též nebyly mnohé způsoby stavby částečně zahloubit pod zem. Stavení byly často netěsné a přívod vzduchu přes netěsnosti do místností byl značný. (2). To vše bylo logicky podmíněno klimatickým podmínkám a v neposlední řadě zdrojům materiálů na daném území.

Jistou koncepci, jakou mají dnešní pasivní domy, již vystihovali různé konstrukce domů solárních. Tyto domy se snažili využívat sluneční energii a především ji akumulovat pro pozdější využití. V ohledu této koncepce byly jistým předchůdci dnešních pasivních domů, ale zpravidla se nevyznačovali důrazem na zvýšenou tepelnou izolaci, výplně otvorů nebo zlepšení vzduchotěsnosti obálky.

Možná je to překvapivé, ale prvním z předchůdců dnešních pasivních domů byl patrně trojstěžník „Fram“ polárního badatele Nansena z roku 1883. Tato loď byla mimo jiné vybavena větrnou elektrárnou, která zajišťovala osvětlení podpalubí. Mezi další vybavení patřilo i řízené větrání ventilátorem, vrstva tepelné i vzduchotěsné izolace a dokonce okna s trojitými skly. (3)

Další technologický vývoj přivedla druhá světová válka, která urychlovala vývoj a technologický pokrok ve většině odvětví. Jak zmiňuje Smola přinesla například extrudovaný polystyrén (3). Následovala snaha využívat energii ze slunce ve výzkumných podmínkách tak vznikaly první stavby s ambicemi pasivního, či dokonce nulového domu.

Za mnohem významnější milník pro nízkoenergetické stavby však lze považovat první ropnou krizi v roce 1973. V této době arabské státy, jako reakci na Jomkipurskou válku a válku mezi Íránem a Írákem, přestaly dodávat ropu západním zemím. To přineslo reakce v ekonomických systémech na obou stranách železné opony. Na západní straně to mimo jiné přispělo k okamžité reakci na sníženou spotřebu nových modelů vozů. Východní blok také nezůstal bez odezvy. Z energetických důvodů musely být například vyhlášovány „uhelné prázdniny“, které v zimních obdobích mohly trvat i několik týdnů. Sovětský svaz na to musel reagovat zvýšením těžby zemního plynu a posílením jeho dodávek.

Kromě nedostatku energie znamenala ropná krize i velké ekonomické otřesy. Třeba Německo bylo svojí energetickou spotřebou více jak z poloviny závislé na ropě z arabských zemí. V době, kdy arabské země obnovily dodávky, cena ropy výrazně vzrostla. V prvních letech na dvojnásobek a v dalších pěti letech až na čtyřnásobek původní hodnoty. Státy by tímto nuceny k řadě úsporných opatření. Nejcitlivější však byly hospodářské důsledky, které v mnoha případech vedly až ke ztrátě zaměstnání. V následných letech bylo tedy nutné obrátit pozornost k úvahám o tom, jak snížit závislost na fosilních zdrojích. Bylo nutné hledat technická řešení, zvyšovat efektivitu, hledat alternativní zdroje a způsoby úspory energie.

Toto vše vedlo k novému myšlení o koncepci výstavby. Mimo zateplování staveb a hledání způsobu využití obnovitelných zdrojů energie bylo úsilí směřováno i tímto směrem. Za cíl mělo snížit spotřebu energie, ale také vytvořit enviromentálně udržitelné, komfortní a zdravé bydlení pro člověka.

Výše zmíněné události vedly řadu architektů na západě k myšlence energeticky autonomních domů. Pro toto řešení byly charakteristické následující prvky:

- částečné, nebo úplné zakrytí stavby terénem,
- jižní strana byla řešena jako velký skleník, někdy také s vlastní produkcí potravin, jako součást uzavřeného oběhu látek a energií,
- využití energie slunce a větru a pokusy o jejich akumulaci a „uskladnění“ po delší dobu,
- recyklování tepla, vody a odpadů,
- energetické využití bio odpadů.

Bylo tedy snahou tvořit soběstačné stavby, které by byly schopné samostatně hospodařit s energií, vodou i odpadem. Další významnou myšlenkou bylo, že stavby měly být postaveny z materiálů, které potřebují minimum energie k jejich výrobě a dopravě. Zde se počítalo i s jistou produkcí potravin v domě samotném a tyto domy se tak měly stát do určité míry samostatnými organismy.

Tyto realizované stavby byly poměrně samostatné, ale byly navíc i technicky a technologicky velice náročné. To znamenalo, že pro běžného stavebníka, nebo komerční výstavbu byly tyto stavby zatím nepoužitelné. I dnes jsou ještě některá řešení složitě realizovatelná. Pokud bychom srovnali poměr ceny a výkonu, zjistili by jsme, že tehdejší stavby několikanásobně převyšovali možné úspory, dosažitelné provozem domu při předpokládané životnosti. Na počátku této cesty však museli stát průkopníci, díky nimž byla v praxi ověřena celá řada konceptů a technických řešení. Nedílnou součástí tohoto procesu bylo i vyznačení slepých uliček, tedy těch řešení, které se ukázaly jako nevyužitelné.

Ukázalo se tedy, že v budoucnosti je nutné posuzovat jednotlivé případy individuálně a důkladně zvážit navržená technická a úsporná opatření v závislosti na konkrétní lokaci, požadavcích a zaměřit se spíše na jednoduché systémy, které svojí obsluhou stavebníka nebudou příliš zatěžovat. Cílem je ekonomická návratnost vložených vícenákladů a také cena, která se nebude příliš lišit od běžné výstavby. Nedílnou součástí je také komplexnost a vzájemná provázanost navrhovaných řešení. Toto je jediný způsob, jak myšlenku energeticky úsporných staveb prosadit v běžné praxi a hromadné výstavbě.

Dnešní pasivní domy potřebují jen minimum energie na vytápění, také pokračuje snaha ve snižování energetické náročnosti spotřebičů. To vše směřuje k otázce jak toto poměrně nízké množství energie, stále lépe získatelné z obnovitelných zdrojů v místě stavby, uchovávat a vytvořit

tak zcela nezávislé stavby na rozvodné energetické síti. Dalším krokem je také zajištění pitné vody, její recyklace a v neposlední řadě také zpracování odpadů. (3), (2)

3.1.1 Počátky hospodaření s energiemi ve výstavbě

„Skara Brae“ jedna z vůbec nejstarších památek zapsaných na seznamu UNESCO. Jedná se o lidská obydlí, přesněji o kamennou neolitickou osadu na Orkenejských ostrovech ve Skotsku z období až 3000 let před naším letopočtem. (4)

Jedná se o přibližně čtvercová obydlí spojená soustavou cestiček. Obydlí jsou částečně, nebo úplně zahrnutu zeminou. V místnosti poté mimo veškeré kamenné vybavení, jako jsou police a postele, nalezneme centrální krb. Již zde je vidět jednoznačná snaha v udržování tepelné energie v místnosti. Mimo to, že je obydlí díky zahlobení dobře chráněno proti povětrnostním vlivům, tak kamenné stěny dobře akumulují teplo a v místnosti tak udržují i po vyhasnutí ohně dobrou tepelnou pohodu.



Obrázek č. 1 – Fotografie Skara Brae – osada z období neolitu

Zdroj: <https://www.jenprocestovatele.cz/nejlepe-vybudovane-archeologicke-naleziste-skara-brae-ceka-na-vas-ve-skotsku/>

Velmi podobnou koncepci staveb lze vidět i o mnoho později v Severských zemích. V těchto zemích, pro které je typické mrazivé počasí se silným větrem lze na architektuře pozorovat podobné prvky. Domy jsou často obsypané zeminou, obkládané kameny, nebo rovnou zasazeny ve svahu. Můžeme zde však pozorovat i zajímavou konstrukci střechy. I když se první zelené střechy vyvinuly až v polovině 20. století, tak v Severských zemích se tato koncepce využívá již po tisíciletí. Na střešní konstrukci je kladena březová kůra, a několik vrstev drnů se zeminou. Takto vytvořené střechy měly životnost až 40 let. Zajímavostí je, že i dnešní moderní zelené střechy mají podobnou záruku. Tyto střechy se vyznačují poměrně dobrou izolací a také jistou akumulací tepla. Na těchto stavbách jejich historie sahá až do roku 900 n. l. (5) je znovu patrná snaha o úsporu a akumulaci tepelné energie.



Obrázek č. 2 – Fotografie Muzeum Arbaer, Reykjavík, Island

Zdroj: [<https://guidetoiceland.is/reykjavik-guide/top-11-museums-in-reykjavik>]

Jak již bylo zmíněno, tak za jakousi první pasivní stavbu lze považovat loď Fram. Tato loď byla postavena, aby v letech 1883-1212 prováděla expedice do Arktidy a Antarktidy (6). Sám autor popisuje konstrukci lodi v knize „ Za noci a na ledě“ 1887:

„Stěny jsou pokryty dehtovou plstí, na ní je korková výplň, potom následuje obložení z jedlového dřeva, na něm je opět silná vrstva plsti, potom vzduchotěsné linoleum nakonec opět dřevěné obložení. Stropy... mají se vším všudy tloušťku 40 cm. Okno, kterým by mohla proniknout zima nejsnáze, bylo chráněno trojitými skly a ještě dalšími způsoby. Je zde teplý příjemný příbytek. I když teploměr ukazuje 5°, nebo 30° pod nulou, netopíme v kamnech. Větrání je vynikající,... protože doslova vhání ventilátorem čerstvý zimní vzduch. Proto se zabývám myšlenkou, že bych kamna nechal úplně odstranit, jenom nám překáží.“ (3, s. 14)



Obrázek č. 3 – Fotografie Trojstěžníku Fram

Zdroj:

[https://www.coolantarctica.com/Antarctica%20fact%20file/History/antarctic_ships/fram.php]

Dalším přelomem byl malý solární dům, která vznikl na universitě Cambridge v Bostonu v roce 1939. Tento dům, s názvem M.I.T. Solar house #1 měl dvě obytné místnosti a ambice na to stát se rovnou prvním nulovým domem. O zajištění energie se staraly solární kolektory a rozměrný akumulční zásobník v suterénu. Tento dům byl navíc důkladně tepelně izolován. (3) (7)



Obrázek č. 4 – Fotografie Solárního domu M.I.T. Solar house #1

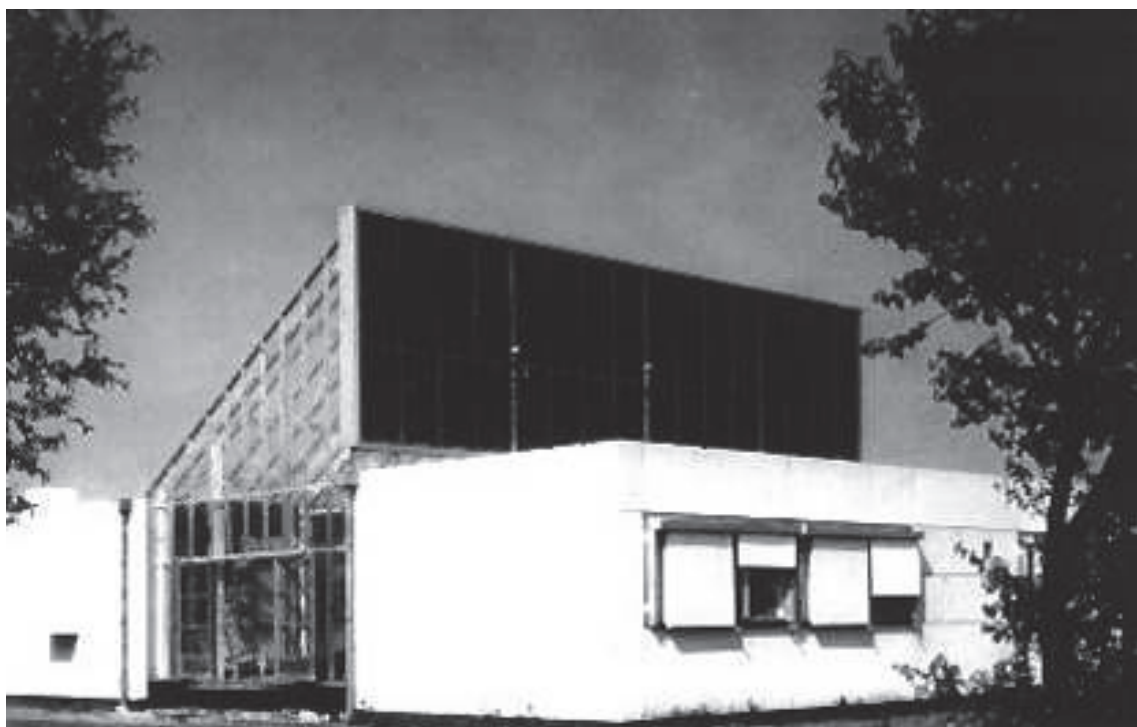
Zdroj: [<https://www.technologyreview.com/s/604079/the-first-us-house-to-go-solar/>]

3.1.2 Rozvoj pasivních domů

Vývoj energeticky úsporných staveb odlišný na základě specifických podmínek a v neposlední řadě tradicí jednotlivých zemí západní Evropy. Například ve Švédsku byla již v roce 1975 zavedena norma SBN75. Tato norma udávala hodnoty součinitelů prostupu tepla blízko dnešním požadavků na nízkoenergetické domy v tuzemsku.

Největší podporu rozvoje a výstavby v Evropě mají pasivní domy od institutu založeného v Darmstadtu v roce 1996, vedeném Dr. Wolfgangem Feistem. Tato nezávislá a nevládní instituce vytvořil i svůj software Passive House Planning Package (PHPP), který průběžně aktualizuje. Jsou zde zahrnuty výsledky jejich výzkumu a také mnohaleté zkušenosti. Tento software je určen pro návrhy a také ověření parametrů pasivních domů.

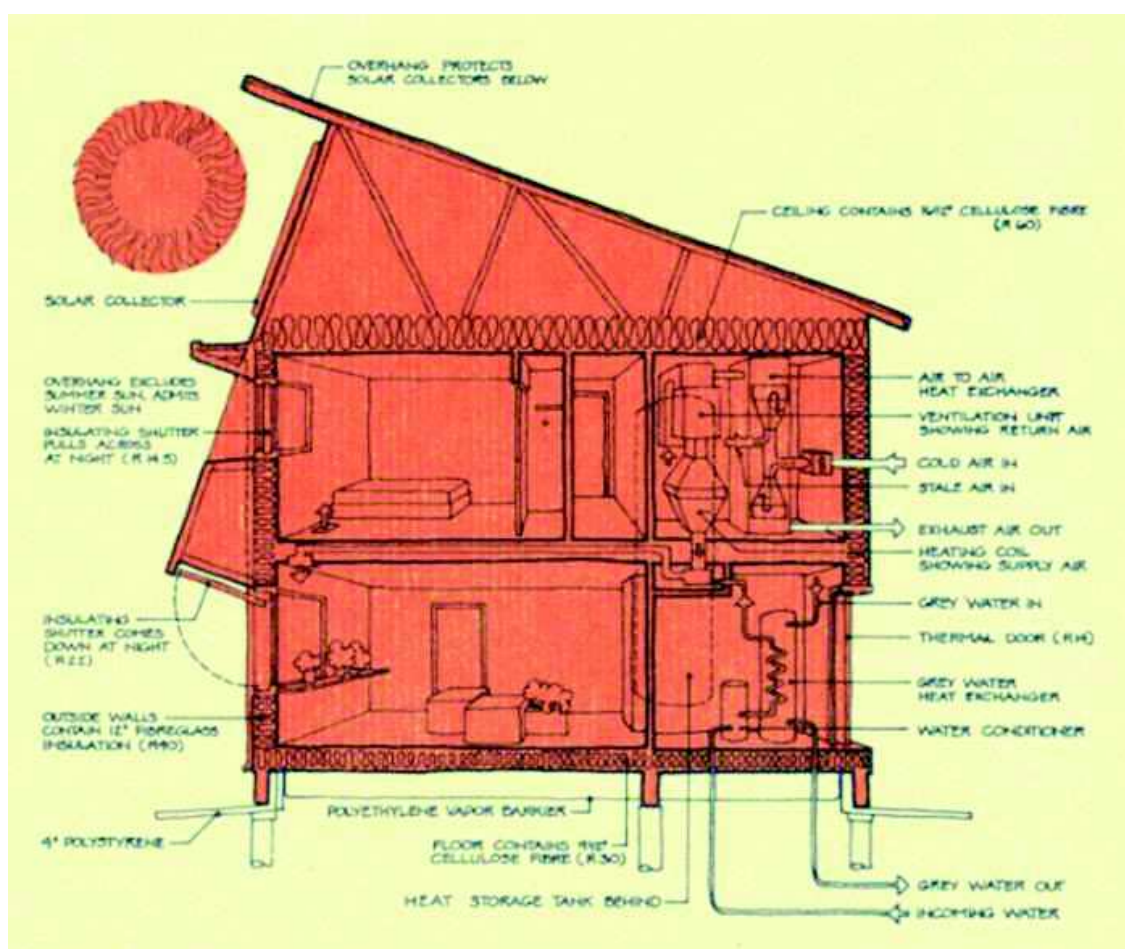
Prvním pasivním domem v Evropě byl dům v dánské Kodani dle projektu Vagna Korsgaardena z roku 1973. Vnitřní tepelné zisky a solární kolektory zde pokrývaly veškeré tepelné ztráty domu. Dům byl tedy realizován rovnou jako nulový bez potřeby energie na vytápění.



Obrázek č. 5 – Fotografie domu DTH zero – energy v Kopenhagenu

Zdroj: [<https://www.ecocor.us/history/systematic-research-vagn-korsgaard-and-the-dtu-zero-energy-house>]

Ve stejném období vznikaly nízkoenergetické stavby i za oceánem. Jednou z nich je například Saskatchewan Conservation House v Kanadě. Tento nízkoenergetický solární dům svým technickým řešením předcházela tehdejší doba. Po celém obvodu byl dům opláštěn izolací tloušťky 45 cm. Byl vybaven jedním z prvních ventilátorů s rekuperací tepla. Byly voleny materiály, které absorbují teplo. Na jižní straně se nacházely velké prosklené plochy a také solární panely. Tyto panely ohřívaly zásobníky vody o objemu 1100 l. Dům byl mimo jiné dobře monitorován a tato měření poskytla důležité poznatky pro další pasivní stavby. (8)



Obrázek č. 6 – Schéma Conservation House v Kanadě

Zdroj: [https://passipedia.org/basics/the_passive_house_-_historical_review/pioneer_award/saskatchewan_conservation_house]

Titul první pasivní dům na světě však nese Kranischstein v Německu. Základní myšlenka pasivní stavby se Dr. Feistovy rodila již během návštěvy Lund University v roce 1987. Během následujících let se snažil vyvinout co nejjednodušší koncept domu, kde by byly využity běžné, nebo velmi snadno dostupné materiály. Při následné stavbě domu bylo využito vápenopískové zdivo tloušťky 17 cm, které bylo nosné a navíc sloužilo k akumulaci. Toto zdivo bylo následně zatepleno 27,5 cm polystyrénu. Dutiny ve střeše byly vyplněny foukanou minerální vatou. Takto vytvořená skladba střechy dosahovala výborné hodnoty součinitele prostupu tepla $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dále zde byl využit výměník tepla nebo okna s trojskly a hodnotou prostupu tepla $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dům doposud obýván a mimo jiné stále monitorován. Spotřeba energie v tomto domě je i po téměř třiceti letech stabilně $10 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$, kterou stále splňuje i dnešní požadavky na pasivní stavby. (9)



Obrázek č. 7 – Fotografie prvního pasivního domu - Německo

Zdroj:[<https://www.rikysongsu.com/blog/passive-house-design-with-arckit>]

V následujících letech, zejména od roku 1997 nastal větší rozmach pasivních domů. V roce 1997 bylo postaveno sídliště 22 řadových pasivních domů s polu s 24 nízkoenergetickými domy ve Wiesbadenu. O rok později byl dokončen i další projekt pěti pasivních domů v Lindlaru u Kölnu. Jednalo se o první samostatně stojící pasivní domy. (3)

V tuzemsku zatím ještě nejsou pasivní domy tak rozšířené jako v Německu nebo Severských zemích, ale i tak rostou na oblibě a stále jich přibývá. Prvním certifikovaným domem pasivním domem byla u nás v roce 2010 stavba rodinného domu v Jenišově.

„Pasivní dům KS-ORIGINAL v Jenišově se tak stal první pasivní dům, který má certifikát Dr. Feista PHI Darmstadt. Jedná se o teprve druhý takový dům v celém bývalém Východním bloku. V Německu nebo v Rakousku, kde jsou takovýchto domů postaveny tisíci, jsou už běžnou záležitostí.“ (10)

Po roce 2014, díky programu Nová zelená úsporám, se podíl nových pasivních domů začal navyšovat. V loňském roce vzrostl meziročně tento podíl o dva procentní body, tedy na 6,5 %. Dokončených domů byla asi tisícovka, celkový počet tak dosáhl zhruba 5000. (11)

3.2 PARAMETRY PASIVNÍHO A NÍZKOENERGETICKÉHO DOMU

Úvodem této kapitoly si připomeneme některé důležité pojmy. To bude dobré pro správné pochopení před tím, než si vymezíme požadavky pro stavby, abychom je mohli označit za pasivní.

3.2.1 Energetické zdroje

Energetické zdroje planety můžeme dělit podle několika kritérií.

- přírodní zdroje energie
 - činnost slunce a měsíce
 - kosmické záření
 - jaderné štěpné reakce uvnitř Země
- podle místa v procesu přeměny
 - primární (v přírodní surové formě)
 - druhotné (vzniklé lidskou činností)

- podle vyčerpatelnosti
 - obnovitelné (nevyčerpatelné a stále se obnovující)
 - neobnovitelné (fosilní a jaderná paliva) (12)

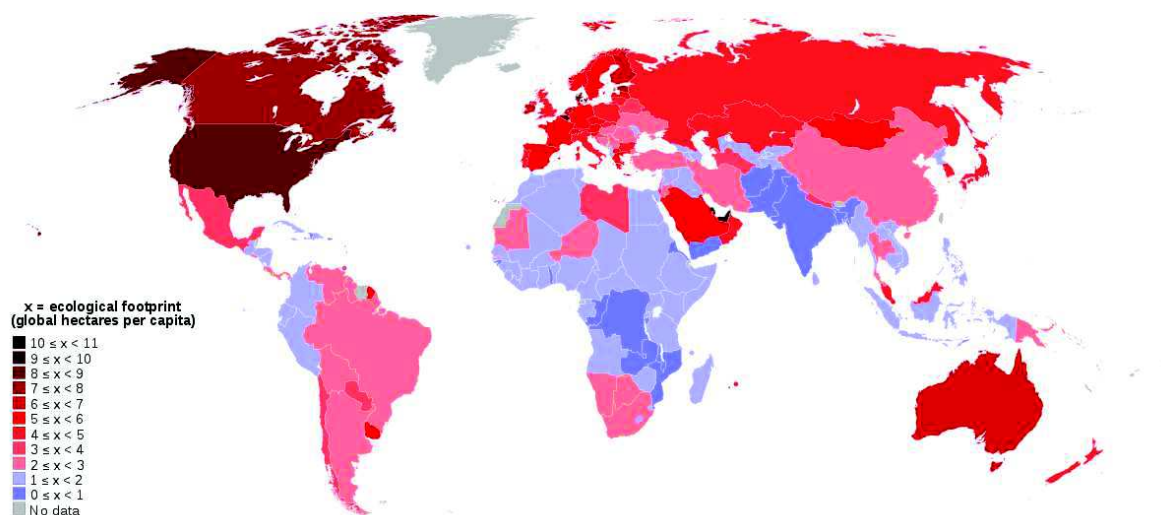
Energie se s rozvojem civilizace stává velmi cennou komoditou. S touto komoditou je však nutné nakládat uvážene, hospodárně ji využívat a mít na paměti, že její zdroje lze vyčerpat. Podle Tywoniaka: *„Skutečný marketing za nás... ...ovšem občas udělá vlna mrazů, veder nebo výpadky dodávek energie, kdy si najedou všichni uvědomí závislost na technice a energii“* (1, s. 9)

Pro naše účely, definice pasivního domu, bude nutné chápat především rozdělení podle procesu přeměny – tedy na primární a sekundární energii. Zdrojem energie není jen elektřina, ale také různá paliva. Spalováním těchto paliv vznikají i látky, které mají různý dopad na životní prostředí. Jedním z příkladů mohou být například kyselá deště. Primární zdroje energie lze rozdělit na obnovitelné a neobnovitelné. Z výše zmíněných důvodů je patrné že spotřebu energie je nutné mimo kvantitativního hlediska hodnotit i na základě kvality, tedy na zdroji energie.

Ještě je dobré připomenout, že mezi neobnovitelné zdroje energie řadíme uhlí, ropu, zemní plyn a uran, za obnovitelný potenciál považujeme slunce, vodu, vítr, biomasu, nebo geotermální energie. Primární zdroje jsou tedy ty, které jsou volně dostupné v přírodě a neprošly žádnou přeměnou. Elektřina, která vznikla přeměnou primární energie vlivem člověka, je považována za nejčistší formu sekundární energie. Při přeměně primární energie na sekundární bohužel dochází ke ztrátám. Tyto ztráty jsou vyjádřeny koeficientem. (12)

3.2.2 Ekologická stopa

Tento pojem přímo nesouvisí s definicí pasivních domů, ale úzce souvisí s jejich myšlenkou a koncepcí. Pro toto pochopení tedy jen krátké seznámení. Tento pojem nám udává jakou stopu, vyjádřenou v globálních hektarech na osobu, zanechává náš životní styl a související spotřeba zdrojů v globálním měřítku. Při spravedlivém rozdělení připadá na osobu 1,8 Gha. V současné době je bohužel spotřeba o polovinu vyšší, konkrétně 2,7 Gha. Největší ekologické stopy za sebou nechávají bohaté země na vrcholu pomyslného žebříčku v čele s Katar a Kuvajtem. Zde je spotřeba až 12 Gha. Přibližně v polovině tohoto žebříčku se nachází Německo se spotřebou 4,6 Gha, oproti tomu Timor nebo Afghanistan se nacházejí se spotřebou menší než 0,5 Gha na opačném konci. V České republice je to přibližně 5,73 Gha. (12)



Obrázek č. 8 – Ekologická stopa na osobu [Gha]

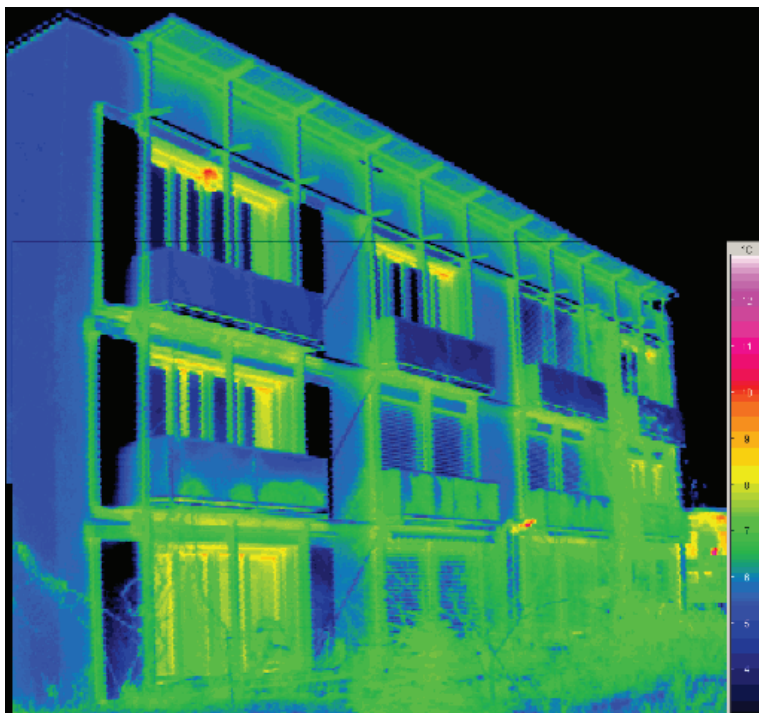
Zdroj:[https://sk.wikipedia.org/wiki/Ekologick%C3%A11_stopa]

3.2.3 Tepelná ztráta a součinitel prostupu tepla

Výše tepelné ztráty je závislá na izolačních schopnostech a celkové venkovní ochlazované ploše konstrukce. Pro lepší pochopení tepelné ztráty je vhodné připomenout jakými způsoby a proč dochází k šíření tepla. K tomu dochází na základě rozdílných teplot na různých místech téhož prostředí. Prouděním tepla tak dochází k vyrovnání teplotních rozdílů, například že teplo proudí z místa s vyšší teplotou do míst, kde je teplota nižší, nebo naopak. Teplo se může šířit třemi základními způsoby – vedením, prouděním a sáláním. U prostupu tepla se obvykle uplatňuje jejich kombinace.

Ke stanovení tepelné prostupnosti je třeba znát základní fyzikální vlastnosti materiálu a to zejména tepelnou vodivost, objemovou hmotnost, vlhkost případně měrnou tepelnou kapacitu. K dosažení pasivního standardu je jednou z nejdůležitějších vlastností materiálu součinitel tepelné vodivosti. Tento součinitel vyjadřuje jaká je míra přenosu tepla vedením. Je značen jako λ s jednotkou W/(m·K). Jeho hodnota je nejvíce závislá na objemové hmotnosti, vlhkosti, chemickém složení a teplotě materiálu. Součinitel prostupu tepla určuje, k jakým tepelným ztrátám skrze

danou konstrukci dochází. Jednotka $W/(m^2 \cdot K)$ vyjadřuje, kolik tepelné energie ve Wattech prostupuje obvodovou konstrukcí o ploše $1 m^2$ při rozdílu venkovní a vnitřní teploty $1 K$. Čím je tato hodnota vyšší, tím horší tepelně izolační vlastnosti konstrukce má a uniká tak skrze ni více tepla.



Obrázek č. 9 – Exteriérový termografický snímek prvního pasivního domu (13)

Zdroj:

[https://passiv.de/former_conferences/Kran/First_Passive_House_Kranichstein_en.html]

3.2.4 Průvzdušnost obálky

Termín související s šířením vzduchu a vodních par konstrukcí a obálkou budovy, souvisí s termínem „vzduchotěsnost“ a jedná se o vlastnost propouštět vzduch, a to při nejmenším za podmínky existence cesty k proudění vzduchu či ještě lépe vedení tepla konvekci a dále za podmínky existence tlakového rozdílu na rozhraní konstrukční vrstvy obálky budovy. Průvzdušnost obálky budovy nelze stanovit výpočtem, spolehlivě ji lze ověřit pouze měřením, když podstatou stanovení parametru průvzdušnosti obálky budovy je ověření intenzity celkové výměny vzduchu (n_{50}) při definovaném tlakovém rozdílu. Vzduchotěsnost obálky se určuje detekční metodou tzv. Blower-door testem. (14)

Zařízení blower-door sestává z velkopřůměrového ventilátoru zasazeného v rámu s plachtou ve dveřích popř. okně v obvodové stěně, pomocí kterého je vytvořen v budově podtlak i přetlak při tlakovém rozdílu 50 Pa. Tímto měřením lze zjistit, kolik vzduchu proudí netěsnostmi do interiéru. Předmětem ověřování parametrů průvzdušnosti jsou především defekty v netěsnostech obálky budov.

Důsledky vad neprůvzdušnosti:

- snížení účinnosti větracího systému
- zvýšená tepelná ztráta budovy
- zvýšené riziko kondenzace uvnitř konstrukce způsobené intenzivním transportem vlhkosti
- urychlení degradačních procesů v okolí netěsnosti a snížení životnosti celé konstrukce
- snížení kvality vnitřního prostředí vlivem proudícího chladného vzduchu
- snížení kvality vnitřního prostředí v důsledku ochlazení vnitřního povrchu v místě netěsnosti
- zhoršení akustických vlastností konstrukce

Čím lépe je obálka domu utěsněná, tím mají netěsnosti větší vliv. Například netěsnost v podobě spáry o rozměru 1 mm a délce 1 m může do konstrukce přivést za den až 360 ml vody. (3, s. 209-224)

3.2.5 Hodnocení energetické náročnosti budov

Povinnou součástí projektové dokumentace je dnes, přesněji od ledna 2009, hodnocení energetické náročnosti budov – průkaz energetické náročnosti budov (PENB). Povinnost se vztahuje nejen na stavbu nového domu, ale také například na pronájem, prodej, nebo stavební úpravy, které ovlivňují energetickou náročnost. Dle legislativy, přesněji občanského zákoníku, se jedná o povinnou součást kupní smlouvy. Toto hodnocení používá zatřídění na základě dodané celkové měrné roční energie v kWh/m²/rok. Jedná se tedy o měrné hodnoty energie vztažené na jednotku užité plochy. Počítáme sem jednak celkovou potřebu energie, ale i účinnou s jakou je potřeba kryta a také pomocnou energií. Od roku 2013 se s novou vyhláškou č.78/2013 Sb. hodnotí také zdroje energie s jejich vlivem na životní prostředí. Toto hodnocení se opírá o posouzení neobnovitelné primární energie.

Na základě dodané energie do budovy se dále hodnotí energetická náročnost do devíti tříd A až G. Všechny novostavby by již ve fázi projektu měly spadat do kategorie A až C. Pasivní domy budou spadat do kategorie A, nicméně z tohoto hodnocení nelze rozeznat pasivní dům od standardního. Požadavky a hodnocená kritéria pro pasivní domy jsou přísnější a budou rozebrány dále. Hlavním rozdílem je, že PENB je povinnou součástí dle legislativy. Certifikace pasivního domu není povinná.

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY			
vydaný podle zákona č. 459/2006 Sb., o hospodaření energií, a vyhlášky č. xxx/2012 Sb., o energetické náročnosti budov			
Ulice, číslo:		<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 100px; margin: 0 auto; text-align: center; line-height: 100px;">FOTO</div>	
PSČ, místo:			
Typ budovy:			
Plocha obálky budovy: m ²			
Objemový faktor tvaru A/V: m ³ /m ²			
Celková energeticky vztažná plocha: m ²			
ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY			
Celková dodaná energie (Energie na vstupu do budovy)		Neobnovitelná primární energie (Vliv provozu budovy na životní prostředí)	
Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)			
<div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px;">Minimální A</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Dop. A</div>	<div style="background-color: #E0FFFF; border: 1px solid black; padding: 2px;">Minimální A</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Dop. A</div>
<div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px;">Volně B</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">XXX B</div>	<div style="background-color: #E0FFFF; border: 1px solid black; padding: 2px;">Volně B</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">XXX B</div>
<div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px;">Středně C</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"></div>	<div style="background-color: #E0FFFF; border: 1px solid black; padding: 2px;">Středně C</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"></div>
<div style="background-color: #FFFFE0; border: 1px solid black; padding: 2px;">Středně D</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"></div>	<div style="background-color: #E0FFFF; border: 1px solid black; padding: 2px;">Středně D</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"></div>
<div style="background-color: #FFDAB9; border: 1px solid black; padding: 2px;">Nehospodárná E</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"></div>	<div style="background-color: #E0FFFF; border: 1px solid black; padding: 2px;">Nehospodárná E</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"></div>
<div style="background-color: #FFA07A; border: 1px solid black; padding: 2px;">Volně F</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"></div>	<div style="background-color: #E0FFFF; border: 1px solid black; padding: 2px;">Volně F</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"></div>
<div style="background-color: #FF6347; border: 1px solid black; padding: 2px;">Minimální G</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"></div>	<div style="background-color: #E0FFFF; border: 1px solid black; padding: 2px;">Minimální G</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"></div>
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		XX,X	
		XX,X	

Obrázek č. 10 – Třídy energetické náročnosti budov - průkaz

Zdroj: [<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-78>]

3.2.6 Definice pasivního domu

„Forward-looking, enviromentaly concious bilidings must be designet for dramatic reductions in energy use, global warming potential, and carbon footprint. Structures must provide a healthy, supportive environment with consistently high performance levels over the long therm. The value of the building must be mesured over the full span of its useful life, from initial acquisition costs to ongoing maintence and final disposition.

Pro dramatické snižování spotřeby energie, potenciálu globálního oteplování a uhlíkové stopy musí být navrženy do budoucna vhodné, ekologicky podložené nápady. Stavby musí poskytovat zdravé životní prostředí podporující prostředí s trvale vysokou úrovní provedení. Hodnota budovy musí být měřitelná po celou dobu její životnosti, od počátečních pořizovacích nákladů až po průběžnou údržbu a konečné využití“ (15, s. 11)

Vzhledem k problematice evropské směrnice, která se nás bude všech v následujících letech dotýkat začneme u pojmu staveb s téměř nulovou spotřebou energie. Tento pojem je v české legislativě prozatím spíše informativní. S předběžnou informací se této problematice věnuje norma ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov. Platí zde, že stavebně technické řešení odpovídá pasivnímu standardu. Posouzení je založené na roční bilanci potřeby a produkce energie vyjádřené v hodnotách PE_{A_v} , tedy primární energie z neobnovitelných zdrojů. Tyto požadavky jsou zahrnuty v následující tabulce. (16)

Závaznost kritéria		Požadovaná hodnota	Doporučená hodnota	Požadovaná hodnota podle zvolené úrovně hodnocení	
		Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m ² K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění EA [kWh/(m ² a)]	Měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů $PEA^{1)}$ [kWh/(m ² a)]	
				Úroveň A	Úroveň B
Obytné budovy	Nulový	Rodinné domy $\leq 0,25$	Rodinné domy ≤ 20	0	0
	Bližký nulovému	Bytové domy $\leq 0,35$	Bytové domy ≤ 15	80	30
Neobytné budovy ²⁾	Nulový	$\leq 0,35^{1)}$	≤ 30	0	0
	Bližký nulovému			120	90

1) Uvedená hodnota je doporučená, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě $U_{em,rec}$ podle 5.3.2 [2].
2) Neobytné budovy s převážující návrhovou vnitřní teplotou 18 °C až 22 °C v čítně. Pro jiné budovy není stanoveno.

Tabulka č. 1 – Základní požadavky pro energetiky nulové budovy, zdroj: [ČSN 73 0540-2]

V závislosti na tom, jestli zahrnujeme uživatelskou energii, tedy energii na provoz spotřebičů, hodnocení probíhá na dvou úrovních. Mnohem lepší oporu mají v české legislativě

domy pasivní, respektive pasivní standard. ČSN 73 0540-2 zde konkrétně uvádí základní požadavky pro pasivní domy. Abychom mohly stavbu, přesněji rodinný dům, označit za pasivní musíme dle normy splnit následujících pět požadavků: (16)

- průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em} \leq 0,20 \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$;
- měrná potřeba tepla na vytápění $\leq 20 \text{ [kWh/(m}^2\cdot\text{a)]}$;
- měrná potřeba energie na chlazení $= 0 \text{ [kWh/(m}^2\cdot\text{a)]}$;
- měrná potřeba primární energie $\leq 60 \text{ [kWh/(m}^2\cdot\text{a)]}$;
- průvzdušnost obálky budovy $n_{50,N} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$.

		Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m²K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/(m²a)]	Měrná potřeba tepla na chlazení [kWh/(m²a)]	Měrná potřeba primární energie [kWh/(m²a)]
Obytná budova	Rodinný dům	≤ 0,25 požadováno ≤ 0,20 doporučeno	≤ 20 požadováno ≤ 15 doporučeno	0 (2)	≤ 60
	Bytový dům	≤ 0,35 požadováno ≤ 0,30 doporučeno	≤ 15	0 (2)	≤ 60
	Nebytová budova s převažující teplotou 18 až 22 °C	≤ 0,35 (1)	≤ 15	≤ 15	≤ 120
Ostatní budovy		Požadavky stanoveny individuálně s využitím aktuálních poznatků odborné literatury			≤ 120
POZNÁMKY: (1) Uvedená hodnota je doporučena, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě $U_{em,rec}$. (2) Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné. Pokud by výjimečně bylo dodatečně použito, musí být odpovídajícím způsobem zahrnuto do hodnocení primární energie, a to i kdyby se jednalo o individuální jednotky považované za elektrické spotřebiče.					

Tabulka č. 2 – Základní požadavky na pasivní budovy, zdroj: [ČSN 73 0540-2]

U rodinných domů by navíc neměl být navrhován systém chlazení, přehřívání vnitřního prostředí musí být primárně předcházeno stavebním a technickým řešením. Spolu s průměrným součinitelem prostupu tepla je nutné také splnit dílčí požadavky na jednotlivé konstrukce, respektive jejich hodnoty součinitele prostupu. Do potřeby měrné primární energie jsou zahrnuty energie na vytápění, přípravu teplé vody a pomocné energie na provoz energetických systémů. Naproti tomu je z tohoto hodnocení vyjmuta energie uživatelská.

Možností jak definovat pasivní dům je několik, různé přístupy i legislativa mohou mít vzájemné drobné odchylky. Podstatná je ovšem základní koncepce pasivního domu, nikoliv konkrétní přístupová metoda. Podle Dr. Feista, zakladatele Passive house institute (PHI), je základní koncepce pasivního domu následující:

„Ein Passivhaus ist ein Gebäude, in welchem die thermische Behaglichkeit (...) allein durch Nachheizen oder Nachkühlen des Frischluftvolumen-stroms, der für ausreichende Luftqualität (...) Erfordlich ist, gewährleistet werden kann - ohne dazu zusätzlich Umluft zu verwenden.

Pasivní dům je budova, ve které je tepelného komfortu dosaženo pouze opětovným ohřevem nebo dochlazením výměn s čerstvým vzduchem, což zajišťuje odpovídající kvalitu ovzduší. To je nutné dovést zaručit - bez použití přidaného proudícího vzduchu.“ (17, s. 8)

Velice podobnou myšlenku uvádí i Pregizer v Zásadách pro stavbu pasivního domu:

„Pasivní budovy jsou charakterizovány minimalizovanou potřebou energie na zajištění požadovaného stavu vnitřního prostředí a minimalizovanou potřebou primární energie z neobnovitelných zdrojů na jejich provoz díky optimalizovanému stavebnímu řešení a dalším opatřením“ (18, s. 11)

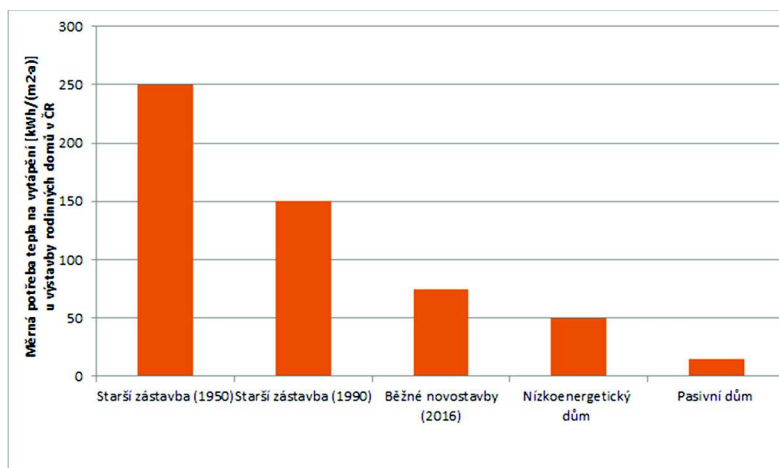
V praxi tedy každý objekt, který splní podmínky pro pasivní domy stanovené PHI a hodnocený metodikou PHPP bude vždy uznán, jako pasivní dům dle TNI 73 0329 a zároveň vždy splní podmínky stávající legislativy pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Lze tedy konstatovat, že hodnocení a certifikace projektu dle metodiky PHPP je v České republice známkou dosažení nejvyššího možného energetického standardu, který investorovi zaručuje i reálně dosažitelné hodnoty spotřeby energie a tedy i provozní náklady.

Parametr	Popis a využití	Metodika
PENB	Průkaz energetické náročnosti budovy je u nás nejčastěji používaným hodnocením. Je povinnou přílohou projektové dokumentace novostavby ke stavebnímu povolení. Stanovuje třídy energetické náročnosti A-G	Hodnotí celkovou spotřebu energie na vytápění, chlazení, přípravu teplé vody, větrání a osvětlení a spotřebu neobnovitelné primární energie. Jedná se o hodnoticí a srovnávací nástroj, nezohledňuje reálné užívání objektu, nemá dostatečnou přesnost hodnocení pro objekty s velmi nízkou potřebou energie na vytápění
TNI 73 0329 TNI 73 0330	Metodika byla uplatňována v souvislosti s hodnocením pasivních domů v programu Zelená úsporám.	Vyhodnocuje měrnou potřebu tepla na vytápění a primární spotřebu energie objektu. Jedná se o hodnoticí a srovnávací nástroj, nezohledňuje reálné užívání objektu
PHPP	Metodika byla vyvinuta v Passivehaus Institutu v Darmstadtu k návrhu a hodnocení nízkoenergetických a pasivních domů	Vyhodnocuje měrnou potřebu tepla na vytápění a primární spotřebu energie objektu. Jedná se celosvětově uznávaný optimalizační, návrhový a certifikační nástroj pro NED a PD, zohledňující reálné podmínky užívání objektu

Tabulka č. 3 – Energetické standardy výstavby, zdroj: [Centrum pasivního domu]

3.2.7 Budovy s téměř nulovou spotřebou energie

V České republice od příštího roku bude možné stavět pouze rodinné domy, které splňují požadavky na budovu s téměř nulovou spotřebou energie. Toto opatření je důsledkem implementace evropské směrnice EPBD II (2010/31/EU). Zavádění tohoto systému je postupné s návaznostmi na velikost budovy, například již dnes platí pro budovy na 1500 m². Od příštího roku, respektive od 1.1. 2020 se bude vztahovat již na všechny budovy. Je zde třeba zdůraznit, že se nebude jednat o splnění pasivního standardu a že se budou stavět pouze pasivní domy. Budova s téměř nulovou spotřebou energie totiž dosahuje měrné spotřeby tepla na vytápění od 40 do 80 kWh v závislosti na geometrii stavby, což řádově odpovídá výstavbě běžných nízkoenergetických domů. Požadavky na budovu s téměř nulovou spotřebou energie se nezaobírají pouze obálkou budovy, ale i zdroji energie v budově. Znamená to tedy, že bez využití obnovitelné energie se neobejdeme. V budoucnu bude tedy nemyslitelná varianta domu, který je celý závislý na elektrické energii ze sítě. Podle odborníků bude vhodným řešením využít zdroje energie, přesněji zdroje tepla, které jsou šetrné k životnímu prostředí. Tím může být kombinace krbových kamen s dodatkovým zdrojem tepla. K ohřevu teplé vody lze zase využít energii ze slunce. Další možností je využití tepelného čerpadla jako hlavního zdroje tepla. Vzhledem k výše uvedenému lze říci, že velká část dnešní výstavby rodinných domů buď splňuje, nebo jen těsně nedosáhne na požadavky budov s téměř nulovou spotřebou energie. Proto se není tak třeba obávat zavedení standardu budovy s téměř nulovou spotřebou energie po roce 2020. Je však nutné si uvědomit, že budovy s touto spotřebou zdaleka nedosahují vlastností pasivního či dokonce nulového domu. Při srovnání těchto energetických standardů na základě měrné potřeby tepla na vytápění, je energetický standard pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie asi třikrát horší, jak standard pasivního domu a to nejsou zmíněny požadavky na kvalitu vnitřního prostředí, nebo podíl využití obnovitelných energií. (19, s. 114-114)



Graf č. 1 – Porovnání energetických standardů; Zdroj: [(19, s. 115)]

3.3 ZÁSADY PRO NÁVRH PASIVNÍCH STAVEB

V přechozích kapitolách jsme byli seznámeni s filozofií nízkoenergetických potažmo pasivních staveb, jejich historií, vývojem a tím jak jsou definovány. Logicky tedy následuje otázka, jak těchto parametrů dosáhnout. Základní zásady dobře vystihuje Smola:

- Jednotlivé konstrukce musí splnit minimálně doporučené hodnoty pro součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí dle ČSN 73 0540-2, lépe však požadavky pro pasivní domy.
- Tvar budovy volit jako jednoduchý a kompaktní, bez zbytečných výčnělků.
- Sledovanou veličinou je co nejmenší poměr ochlazované plochy obálky ku obestavěnému prostoru A/V .
- Budovu na pozemku orientovat tak, aby se maximálně využilo slunečního záření na jižní a západní straně.
- Dispozici stavby je třeba tepelně zónovat. Obytné místnosti se orientují na jih, naopak chladné prostory na sever
- Vyjma splnění požadavků na součinitel prostupu tepla, je třeba obálku navrhnout bez tepelných mostů, nebo s důsledně optimalizovanými tepelnými mosty.
- Zpracovat detailní výkresy všech klíčových míst.
- Již návrh, ale především samotné provedení, by mělo vést k provedení vzduchotěsné obálky, která splní blowerdoor test.
- S úvahou navrhnout umístění otvorů. Každé okno by mělo přinášet více tepelných zisků než ztrát. Je třeba volit okna s kvalitním zasklením nejlépe $U_w = 0,8 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.
- V pobytových místnostech musí být zajištěna výměna vzduchu, aby nedocházelo k hromadění CO_2 . Současně je třeba při výměně vzduchu využívat zpětného získávání tepla.
- Budova není jen o návrhu, ale především realizaci. Proto by měl autor projektu provádět pravidelný autorský dozor a být k dispozici při řešení nejasností (3, s. 99)

3.3.1 Situování ke světovým stranám a orientace na pozemku

První a velice důležitý krok je výběr pozemku. Ideální pozemek má obslužnou komunikaci přiléhající ze severu. Příjezdová cesta, parkování, garáže a vstup do domu, který je většinou situovaný ke komunikaci se poté může nacházet právě na severní straně. Jižní strana pozemku poté náleží zahradě, kam mohou být orientovány obytné místnosti. Hlavním cílem je maximalizovat osluněné plochy a s tím související solární zisky. V souvislosti s tím, je třeba brát v úvahu i okolní prostor, to nejen jeho současný stav, ale také jeho možné změny v budoucnosti. Například budoucí výstavba, nebo rostoucí zeleň na okolních pozemcích. Důležitou součástí je i celkové umístění stavby na pozemku, kdy odvrácení hlavního průčelí od jihu o 90° znamená snížení solárních zisků až o více jak 35 %. Dále je potřeba se vypořádat s regulačním plánem, který často ještě nepočítá s umístěním pasivních staveb na pozemcích a správné umístění znemožňuje. V neposlední řadě má na výsledek i zatížení stavby větrem, které lze řešit vhodným umístěním stavby, tvarem, ale také uspořádáním vegetace. (3, s. 110-130); (18, s. 62-63)

3.3.2 Tvar a dispozice

Dalším významným parametrem je tvar budovy. Tvar budovy, po správné orientaci a vlastní situaci pozemku, velmi výrazně ovlivňuje energetickou úsporu stavby. Cílem je nalézt hmotové řešení, kde bude poměr co největšího vnitřního objemu (V) mít co nejmenší povrch obvodového pláště (A). Čím větší bude vycházet parametr $[A/V] = \text{m}^2/\text{m}^3$, tím budou větší tepelné ztráty objektu, které bude nutné kompenzovat lepším součinitelem tepelné vodivosti obvodového pláště. Teoreticky nejlepšího poměru dosahuje koule, která ovšem ze stavebního hlediska nemá významné uplatnění. Vhodným a častým tvarem může být například dvojpodlažní dům ve tvaru kvádru s plochou střechou, který je svojí delší stranou situovaný na jih, tak aby byla co největší plocha osluněna. Z tohoto pohledu mají jistou výhodu řadové domy, které díky společným stěnám snižují ochlazovanou plochu pláště. Lepší poměr $[A/V]$ mají oproti rodinným domům také většinou administrativní budovy nebo bytové domy.

Neopomenutelnou součástí je i dispoziční řešení stavby. To je provázané s konstrukcí domu a jeho orientací na pozemku. Na severní straně, kde by mělo být minimum oken je vhodné umístit vedlejší prostory jako chodby, schodiště, technické zázemí, sklady, případně garáže, tedy místnosti, které často nejsou obytné a není navíc nutné dodatečné zvyšování jejich teploty. Tento

prostor se také někdy nazývá jako tepelně vyrovnávací zóna. Na jižní straně je zase vhodné použít obytné místnosti často v kombinaci s velkými prosklenými plochami pro maximalizaci solárních zisků. Mezi východní a západní stranu je vhodné místnosti rozdělit dle účelu, například ložnici na východ a kuchyni na západ. (3, s. 131-154)

3.3.3 Konstrukční řešení

Požadavky na obálku, respektive obvodový plášť pasivní stavby jsou mnohem přísnější než je tomu u stavby běžné. Pasivní dům můžeme postavit v podstatě z libovolného materiálu, ovšem některé jsou pro tuto stavbu vhodné více a některé méně, až nevhodné. Mezi základní požadavky na obvodový plášť patří zejména dostatečná izolace, vyloučení tepelných mostů a vazeb, omezení poklesu vnitřní povrchové teploty, vyloučení nebo omezení kondenzace vodních par v konstrukcích a zaručení vzduchotěsnosti obálky.

3.3.3.1 Základové konstrukce a podlaha

Každá stavba začíná u základu a již těm je vhodné věnovat zvýšenou pozornost. Obecně je vhodnější pasivní stavby provádět jako nepodsklepené, je tu nutnost dokonalého provedení izolace. Navíc podzemní prostory vyvolávají mnoho dalších, u pasivních domů, náročných řešení a detailů, to vše vede k výraznému prodražení stavby. U nepodsklepených staveb s klasickými základovými pasy je nutná dodatečné zaizolování celého obvodu základů. Další možností je založení desky na nějakém izolačním materiálu, například pěnovém skle. Moderní lehké stavby, respektive dřevostavby jsou často založeny na bodových podpěrách, kde je pod stavbou vytvořena souvislá provětrávaná mezera, která vylučuje potřebu dodatečné hydroizolace izolace proti radonu. Podlahu v tomto případě často tvoří velmi dobře zateplený rošt. U pasivních staveb mají významnou roli i konstrukce podlah, zejména podlaha v nejnižším podlaží. Skladba podlahy značně ovlivňuje kvalitu bydlení a také energetickou bilanci. Na podlahy jsou často kladeny náročné požadavky. Na jedné straně dotyková teplota a akumulční vlastnosti pro jejich pasivní využití a akumulaci solárních zisků, případně obecně tepelnou stabilitu. Další významnou funkcí je tepelná izolace. (3, s. 150-200)

3.3.3.2 Stěny

Všechny obvodové stěny by měly splňovat minimální požadavek na součinitel prostupu tepla nižší než 0,18-0,12 W/m²K. Celková tloušťka stěn u pasivních domů je často okolo větší. Na obvodové stěny jsou kladeny i další požadavky, jako je samozřejmě nosná funkce a také funkce akumulční. Tyto požadavky dobře splňují stěny s tvarovkou z keramiky, nebo lehčeného betonu a dodatečná izolace. Toto konstrukční řešení často i dobře splňuje umístění rosného bodu v konstrukci a následnou kondenzaci vodních par, to se nedá říct o systémových tvarovkách bez dodatečné izolace, které ovšem také mohou splňovat požadované vlastnosti na součinitel tepelného odporu. U dřevostaveb jsou podle konstrukčního systému stěny tvořeny buď nosným roštem, izolací a nějakou povrchovou vrstvou, nebo je zde možnost sendvičového systémového zdiva. Vnitřní stěny, které budou tvořit zejména příčky, mohou mít místo obvyklé dělicí a izolační funkce ještě i další významnou úlohu. U pasivních staveb mohou příčky mít i funkci akumulční, díky této vlastnosti se mohou podílet na tepelné stabilitě celé stavby a podporovat její tepelnou setrvačnost.

3.3.3.3 Výplně otvorů

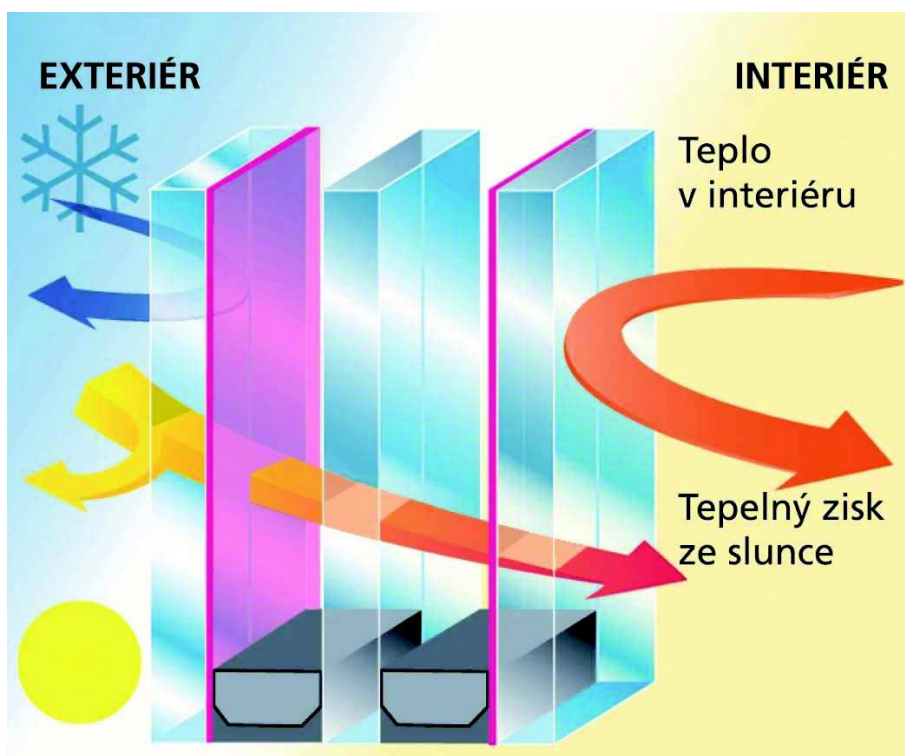
Výplně otvorů, zejména okna a dveře oddělují interiér od exteriéru. Těmto otvorům je nutné věnovat velkou pozornost. Jsou vystaveny působení mnoha vlivů jako je sluneční záření, teplotní rozdíly, vítr a vlhkost. Navíc těmito otvory putuje až 40 % tepelných ztrát objektu. Jsou tedy velmi důležitým prvkem pasivní stavby, jejich návrh a vlastnosti významně ovlivňují parametry a tepelnou pohodu v pasivní stavbě.

I ty nejvíce kvalitní okna mají stále horší tepelně technické vlastnosti než obvodový plášť budovy. Cena vzhledem k ploše může být navíc i čtyřnásobná. Je velice důležité správně naprojektovat velikost i rozmístění těchto otvorů. Z hlediska tepelných ztrát je výhodnější jedno velké okno než více menších o stejné součtové ploše. Celková plocha prosklených ploch je přibližně 1/6 podlahové plochy obytné místnosti. Větší prosklené plochy nejsou vhodné, protože navyšují tepelné ztráty i investiční náklady. Navíc je zde zpravidla nutný návrh stínění, chlazení v letním období je energeticky až 3x náročnější, než vytápění v období zimním. Zásadní požadavky na výplně otvorů v pasivním domě jsou, zabránit úniku tepla z objektu v zimních měsících tak, aby se nám teplo udrželo v domě. Spolu s tím je také požadavek na to, aby byly tepelné zisky energie

z prostupu slunečního záření co největší a zajišťovaly tak přirozené vytápění v zimních měsících. Izolačním prvkem u oken je tvořen mezerou mezi okenními skly. S rostoucím počtem oddělených mezer rostou izolační schopnosti okna a klesá tak součinitel prostupu tepla. Tento prostor je navíc u kvalitních oken zpravidla plněn plynem, který má lepší izolační vlastnosti než vzduch – často se používá například argon.

Samotné zasklení oken tvoří velmi složitý systém. V dnešní době jsou okna schopna dosahovat velmi nízkých součinitelů prostupu tepla U i s hodnotami menšími než $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$. V případě použití speciálních pokovených fólií, které se natahují mezi dvě vrstvy skel a jsou tak schopny odrážet teplo, dokonce i hodnot pod $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Z pohledu součinitele prostupu tepla tedy není problematické dosáhnout pasivního standardu, otázkou jsou ale vícenáklady spojené s těmito okny.

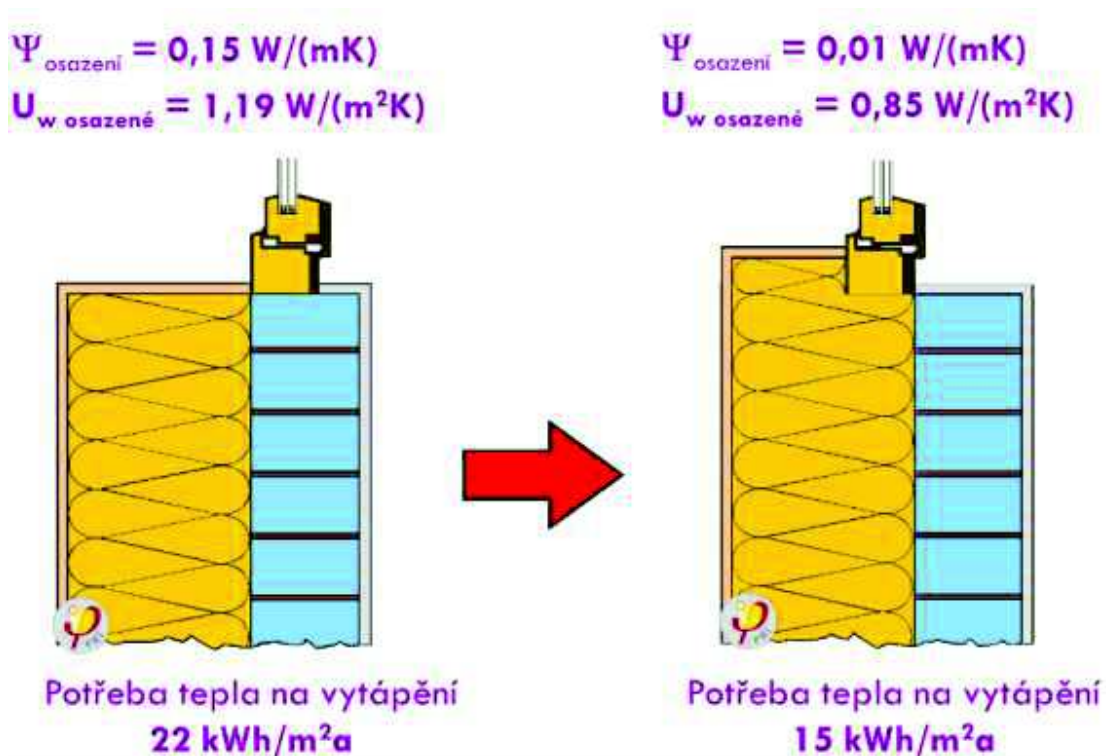
Součástí okenní konstrukce jsou i okenní rámy a křídla. Samotný podíl rámu a křídla z celkové plochy okna tvoří 15 až 35 %, nicméně dosahuje až 20 % horších tepelně izolačních vlastností než samotné zasklení. Z pohledu součinitele prostupu tepla se jedná o nejslabší článek obálky budovy. Okenní rámy navíc nepřinášejí žádné solární zisky, přinášejí nám pouze tepelnou ztrátu. K jejich konstrukci jsou využívány dřevěné, plastové nebo kovové materiály doplněné o tepelnou izolaci. Kovové rámy jsou využívány hlavně u velkoplošných oken pro jejich vysokou pevnost a odolnost.



Obrázek č. 11 – Zobrazení prostupu tepla okny

Zdroj: [<https://www.pasivnidomy.cz/zaskleni/t364?chapterId=1815>]

Zásadní vliv na funkci okna má jeho samotné osazení. Při běžném osazení rámu v úrovni zdiva dochází ke zhoršení parametru součinitele prostupu tepla. Správně osazené okno by mělo být ve vrstvě tepelné izolace, která navíc zakrývá co největší část rámu. Okenní rám je často nutné dokonce předsadit do tepelné izolace. Toto předsazení může být 5 až 15 cm. Využívají se různé kotvy, které musí svým řešením minimalizovat možný vznik tepelných mostů. Takto předsazené výplně otvorů je navíc nutné utěsnit parotěsnou a difuzní folií. Nevhodné osazení oken může způsobit až 50% zhoršení tepelně technických vlastností okna, tento fakt jen potvrzuje skutečnost, že u pasivních domů je nutná komplexnost už ve fázích projekční přípravy. Případné chyby se projevují mnohem markantněji, než u běžných staveb.



Obrázek č. 12 – Osazení okna

Zdroj: [<https://www.pasivnidomy.cz/experti-ukazali-ze-osazeni-oken-je-pri-stavbe-zasadni/t4103>]

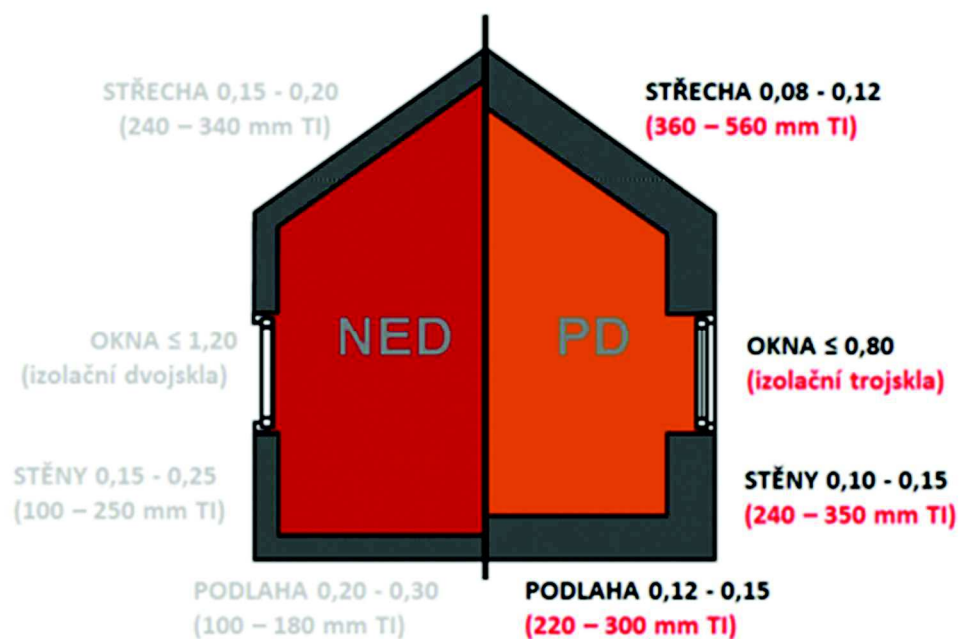
K dosažení ideálních vlastností zabraňujícím únikům tepla při dosažení dobrého proslunění a maximálních solárních zisků je možné volit různé varianty typů oken vzhledem k jejich umístění. U oken orientovaných na severní straně je například možné použít okna s lepšími izolačními vlastnostmi. U těchto oken není nutná propustnost a maximalizace solárních zisků a je proto vhodné je volit s ohledem na tyto skutečnosti. Naopak vlastnosti prosklených ploch na jižní straně je vhodné volit s ohledem na maximalizaci solárních zisků v zimním období. Prosklené plochy na východní a západní straně mají také svoje specifika. Vzhledem k malému úhlu, pod kterým mohou na tyto plochy dopadat sluneční paprsky je vyšší riziko možnosti přehřívání v letních měsících, ale také zhoršené solární zisky v měsících zimních. S podobným problémem se potýkají i střešní okna. Jejich šikmá orientace způsobuje větší prostup slunečních paprsků a přehřívání podkroví. Navíc toto natočení vede ke zhoršení prostupu tepla až o 20. Samotné osazení oken do roviny střešní krytiny je také problematické. Tyto okna jsou totiž osazeny často mimo izolační obálku. Dalším jejich problémem je i zastínění a následné přehřívání interiéru v letních měsících. Střešní okna tedy často zhoršují energetickou bilanci pasivních staveb, proto je vhodné se jim z jejich konstrukční podstaty vyhnout, případně je důsledně zvážit.

Na dveře, ať již vchodové, nebo balkonové, jsou kladeny stejné požadavky jako na okenní výplně. Avšak u těchto konstrukcí je kritickým detailem oblast prahu. Je to detail, který je velmi složité utěsnit a hrozí zde vznik tepelných mostů. Tento detail výrobci řeší různými mechanismy, které tuto oblast dovedou utěsnit. (3, s. 150-224)

3.3.3.4 Střecha

Nezanedbatelnou součástí obvodového pláště je střecha. Její konstrukční řešení a tvar významně ovlivňují tepelně technické vlastnosti. Obecně jsou hlavními funkcemi zastřešení zajistit odvod dešťové vody, chránit stavbu a především podkroví před ochlazováním a přehříváním a v neposlední řadě zamezit pronikání vlhkosti z interiéru do konstrukce střechy, respektive do její izolace.

K dosažení co nejlepšího parametru $[A/V]$ je nejvhodnější návrh ploché, nebo pultové střechy. Ve střešním plášti pasivních staveb bývá využito i více jak 50 cm tepelně izolační vrstvy.



Obrázek č. 13 – Schéma konstrukce nízkoenergetického a pasivního domu

Zdroj: [<https://www.pasivnidomy.cz/z-ceho-postavit-pasivni-dum-vhodne-masivni-konstrukce/t4239>]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m²·K)]		
	Požadované hodnoty $U_{\text{cel,21}}$	Doporučené hodnoty $U_{\text{cel,21}}$	Doporučené hodnoty pro pas. b. $U_{\text{pr,21}}$
Stěna vnější	0,30 ¹	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18–0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18–0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15–0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15–0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15–0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,30 ¹	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18–0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině ^{6a}	0,45	0,30	0,22–0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30–0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,75	0,50	0,38–0,25
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,50	0,38–0,25
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině ²	0,85	0,60	0,45–0,30
Stěna mezi sousedními budovami ³	1,05	0,70	0,50
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,05	0,70	
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,30	0,90	
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,20	1,45	
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,70	1,80	
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,50 ⁷	1,20	0,80–0,60
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,40 ⁷	1,10	0,90
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,70	1,20	0,90
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	3,50	2,30	1,70
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,50	2,30	1,70
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	2,60	1,70	1,40
Lehký obvodový plášť (LOP), hodnocený jako smontovaná sestava včetně nosných prvků, s poměrnou plochou průsvitné výplně otvoru $f_w = A_w / A$ [m²/m²], kde je: A – celková plocha lehkého obvodového pláště (LOP) [m²]; A_w – plocha průsvitné výplně otvoru sloužící převážně k osvětlení interiéru včetně příslušných částí rámu v LOP [m²]	pro $f_w \leq 0,5$: 0,3 + 1,4 · f_w pro $f_w > 0,5$: 0,7 + 0,6 · f_w	0,2 + f_w	0,15 + 0,85 · f_w
Kovový rám výplně otvoru	–	1,80	1,00
Nekovový rám výplně otvoru ⁸	–	1,30	0,90–0,70
Rám lehkého obvodového pláště	–	1,80	1,20

Tabulka č. 4 – Požadované hodnoty součinitelů prostupu tepla podle normy ČSN 73 0540-2 (2011); [(20, s. 14)]

3.3.4 Tepelné mosty

Jak již bylo zmíněno v přecházejícím textu, tepelné mosty hrají v pasivních domech velkou roli. Tepelný most je místo, ve kterém dochází k vícerozměrnému vedení tepla, mohou být způsobeny vedením, prouděním a sáláním. Ve stavební praxi se nejčastěji setkáváme s tepelnými mosty způsobenými vedením tepla. Tyto mosty lze rozdělit na tepelné mosty a tepelné vazby. Tepelná vazba je tepelným mostem, který vzniká stykem různých konstrukcí, jako jsou okenní ostění nebo rohy budov. Tepelné mosty mohou být nahodilé, jako například nepravidelné promaltování cihel, nebo systematické, což jsou nejčastěji hmoždinky kotvící tepelnou izolaci. Tyto místa se zpravidla vyznačují odlišnou hustotou tepelného toku a změnou vnitřní povrchové teploty. (21)

V místech tepelných mostů zpravidla dochází k větším tepelným ztrátám a odvodům tepla do okolí než v jiných částech konstrukce. Nežádoucí vliv má také samotný rozdíl teplot v konstrukci. Zde je největším problémem především teplota na vnitřní straně konstrukce. Teplota na vnitřní straně může v těchto místech klesnout až pod požadovanou hodnotu konstrukce a může docházet ke kondenzaci vodních par. Tyto místa jsou poté ideální pro vegetaci mikroorganismů a plísní, které mohou být nebezpečné pro zdraví obyvatel domu. Vhodnou volbou konstrukčních řešení je nutné vzniku tepelných mostů předcházet. Pokud takové řešení není možné, je nutné tepelný most přerušit nebo překrýt tepelnou izolací tak, aby bylo zabráněno kolísání vnitřních teplot pod hranici požadavků. (22)

Mezi nejčastější příčiny vzniku tepelných mostů patří:

- odlišné tloušťky vrstev stavební konstrukce,
- volba materiálů s odlišnou tepelnou vodivostí, díky které proniká teplo konstrukcí zcela nebo pouze její částí.

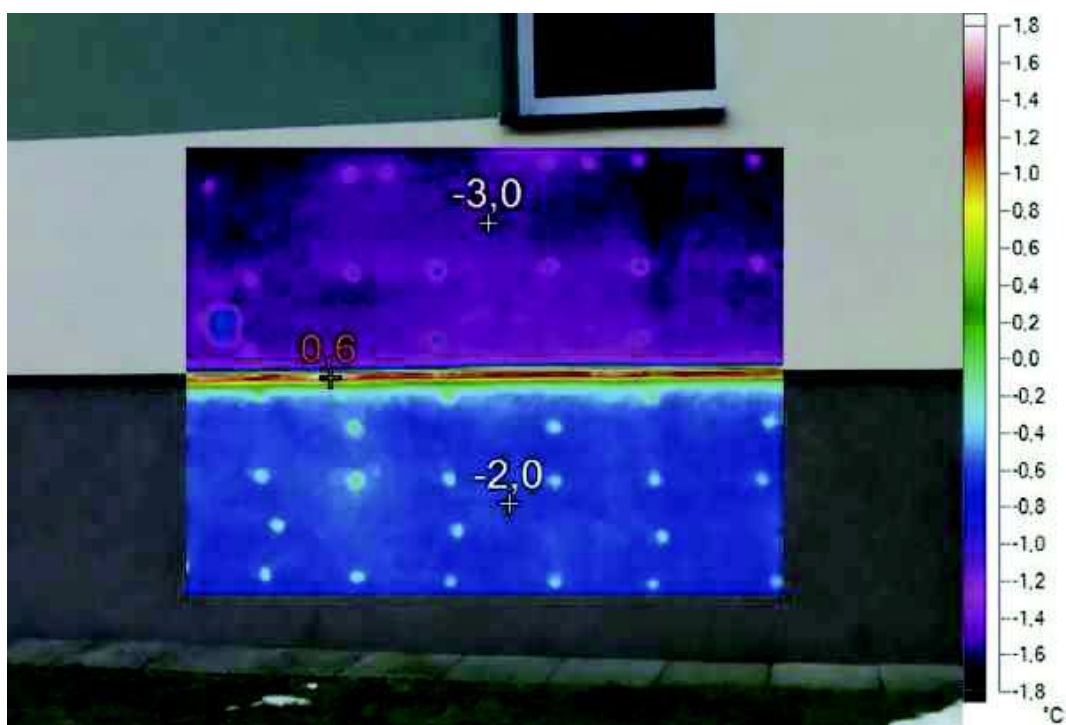
Nejčastější výskyty tepelných mostů bývají v místech:

- napojení konstrukcí (stěny a strop, obvodové stěny a základy, stěny a okna...),
- změny tvaru konstrukce (rohy a kouty budov...),
- v místech horších tepelněizolačních konstrukcí (krokve, okna),
- změny konstrukčního řešení v obvodových zdech (dozdívání pomocí plných cihel,...).

Další rizikové faktory pro vznik tepelných mostů:

- stěny, které prostupují stropní tepelněizolační vrstvu nad posledním podlažím,
- zateplení stropu (nad nevytápěnou místností) bez přesahu na obvodové stěny,
- chybějící izolace překladů nad obvodovými otvory,
- montování ocelových kotev do fasády,
- vnější konzoly pro stabilitu přesahů stavby,
- značně členitý tvar objektu. (21)

Při řešení stavebních detailů je nutné postupovat tak, aby splňovaly všechny na ně kladené požadavky. Z hlediska tepelné techniky pak zejména vnitřní povrchovou teplotu. Zásad pro řešení a předcházení vzniku tepelných mostů je několik. Je to zejména jednoduchá geometrie domu, vhodný konstrukční systém, využití konstantního vnějšího obalového zateplení, využití tepelně izolačních spojovacích materiálů a správný návrh všech detailů jako je například osazení okenních otvorů v rovině izolace.



Obrázek č. 14 – Termosnímek fasády a kontaktního zateplovacího systému

Zdroj: [<https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/hlinikove-zakladaci-listy-na-smetiste-dejin>]

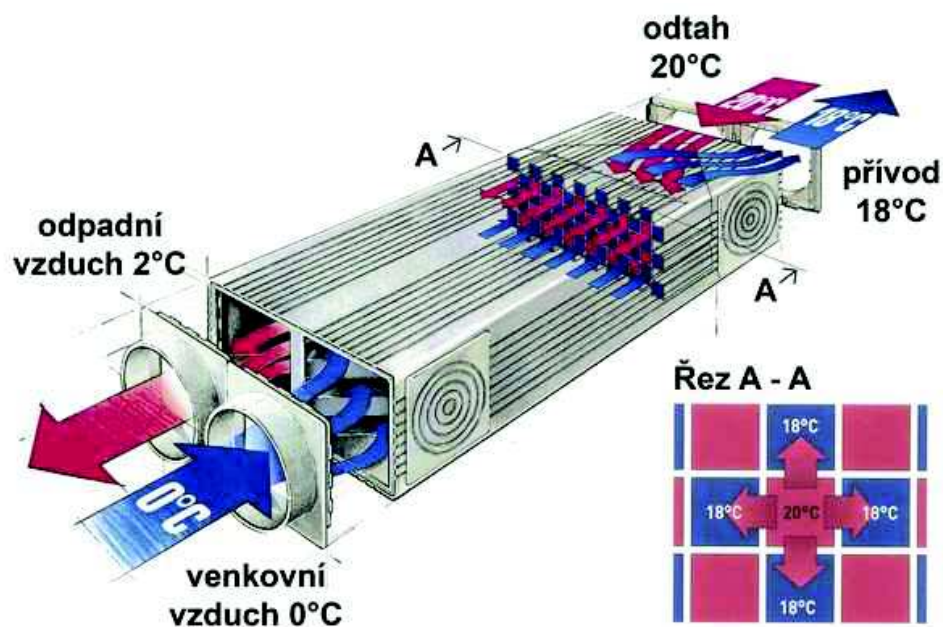
3.3.5 Větrání

V běžné výstavbě dosahuje vynaložená energie na ohřev vzduchu z větrání v zimním období až ke 30 % celkové spotřeby. Větrání se navrhuje s ohledem na minimální požadavky výměny vzduchu v místnostech. Tyto požadavky se pohybují v rozmezí 0,3 až 0,5 h⁻¹. To znamená, že celý objem vzduchu se v místnosti vymění za dvě až tři hodiny. Takové množství zajistí dostatečnou kvalitu vzduchu uvnitř budovy a musí zejména zajistit dostatečný přívod množství kyslíku pro dýchání, odvod vlhkosti a také odvod škodlivin uvolňovaných v budově. Z těchto důvodů je nutná výměna vzduchu i z místností bez pobytu osob. V takových případech by měla být výměna minimálně 0,1 h⁻¹. (14)

Pasivní domy jsou právě z důvodů velkých tepelných ztrát přirozeným větráním navrhovány jako vysoce neprůvzdušné. To s sebou nese riziko vzniku plísní a kondenzaci vodních par. Výměnu vzduchu v pasivních domech je tedy zpravidla nutné zabezpečit systémem nuceného větrání. K dostatečnému přívodu vzduchu do budovy jsou využívány ventilátory případně celé systémy, které mohou upravovat kvalitu vzduchu. U těchto systémů lze využít možnost odvodu přebytečného teplého vzduchu z teplejších částí domu do chladnějších. Tyto systémy jsou charakteristické instalovaným potrubím, které jako nežádoucí jev může způsobovat i přenos prachu a zvuků mezi místnostmi. K zamezení tepelných ztrát jsou využívány rekuperační systémy. Tedy systémy se zpětným získáváním tepla. Odváděný vzduch takto předává část svého tepla čerstvému vzduchu, který je do objektu přiváděn. Účinnost rekuperace je udávána v procentech, velmi kvalitní zařízení dokáží dosahovat asi 90% účinnost. Využívají se různé výměníky, některé dovedou částečně předávat i vlhkost. Rekuperace může být pasivní, bez dohřívání přiváděného vzduchu nebo aktivní, kdy je přiváděný vzduch ještě dohřívám. Zde jsou často instalována tepelná čerpadla, která umožňují přiváděný vzduch dohřát na požadovanou teplotu. Toto řešení si však vyžaduje dodatečnou energii na provoz. Tímto způsobem však může nahradit za určitých okolností i další otopný systém.

Další možností, jak příchozí vzduch předehřát jsou zemní výměníky. Ty mohou vzduch, v závislosti na venkovní teplotě a ročním období, ochlazovat nebo přehřívat. Takovéto potrubí je ukládáno přibližně 2 m pod povrch země, kde je přibližně stálá teplota mezi 5 a 15°C.

V neposlední řadě se větrací systémy mohou starat o filtraci a dodatečnou úpravu vzduchu jako je například odvlhčování. To vyvolává dodatečné náklady jako mohou být případná údržba a výměny filtrů.



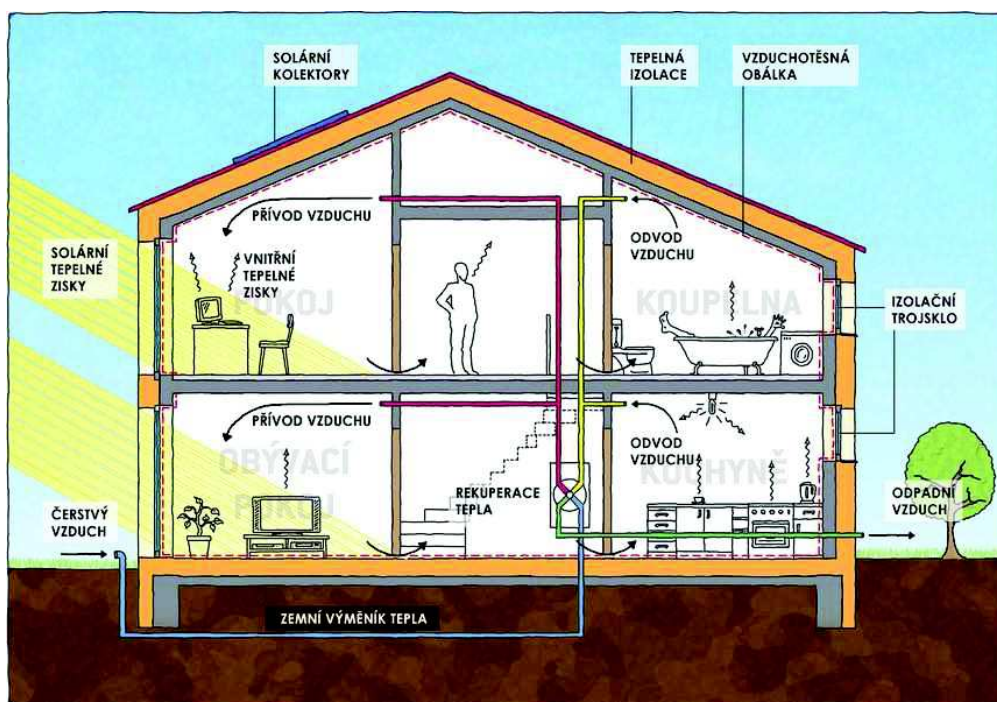
Obrázek č. 15 – Schéma rekuperačního výměníku tepla

Zdroj: [<https://www.pasivnidomy.cz/vetrani-a-vytapeni/t379?chapterId=1670>]

3.3.6 Nutné změny z NED a PD

Na základě výše uvedeného lze stanovit několik požadavků, které bude nutné provést při změně z nízkoenergetického na pasivní dům. Jedná se zejména o:

- Zlepšení tepelně technických vlastností obálky budovy,
- Optimalizace tvaru,
- Orientace a poměr prosklených ploch – maximalizace solárních zisků,
- Důsledné zlepšení vzduchotěsnosti obálky,
- Minimalizace tepelných mostů,
- Instalace nuceného větrání se zpětným získáváním tepla
- Zamezení přehřívání interiéru, nutnost instalace stínění



Obrázek č. 16 – Schéma principu pasivního domu

Zdroj: [<https://www.nazeleno.cz/stavba/nizkoenergeticke-domy/pasivni-nizkoenergeticke-a-nulove-domy-co-je-co.aspx>]

4 POSOUZENÍ EKONOMICKÉ NÁVRATNOSTI INVESTICE DO PASIVNÍHO DOMU

4.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Hlavním cílem této práce je vlastní posouzení ekonomické návratnosti investice do pasivního domu a následné zhodnocení, jestli se tato investice vyplatí. V této kapitole budou tedy stručně rozebrány základní ekonomické pojmy. Dále je také dobré se seznámit s dalšími pojmy, které k podrobnějšímu stanovení návratnosti investice do pasivního domu, přímo souvisejí a mohou ji zásadně ovlivnit.

4.2 DOTACE NOVÁ ZELENÁ ÚSPORÁM

Výstavba nových domů je v dnešní době velmi finančně náročná. V případě domů s nízkou spotřebou energie, jako jsou například pasivní domy je investice ještě větší. Složité konstrukční detaily, které jsou pro tyto domy nezbytné jsou často finančně náročné. Navíc návratnost této investice může být i desítky let. Pokud navíc nemáme vlastní kapitál a stavbu financujeme za pomoci kapitálu vypůjčeného, například ve formě hypotéky. V tomto případě se návratnost investice ještě prodlužuje se splácením úroků.

Tyto dodatečné investice však můžeme z velké části pokrýt za pomoci programu Nová zelená úsporám, který spadá pod Ministerstvo životního prostředí a podporuje snižování energetické náročnosti budov.

„Hlavním cílem programu je zlepšit stav životního prostředí snížením produkce emisí znečišťujících látek a skleníkových plynů (především emisí CO₂). Záměrem programu je dosáhnout úspory energie v konečné spotřebě a stimulovat ekonomiku ČR s dalšími sociálními přínosy, kterými jsou například zvýšení kvality bydlení občanů, zlepšení vzhledu měst a obcí, nastartování dlouhodobých progresivních trendů.“ (23)

Žadatelem o dotace může být fyzická nebo právnická osoba, stavebník či vlastník nemovitosti. Dotační program poskytuje podporu pro snižování energetické náročnosti stávajících nebo nových rodinných domů, efektivní využívání zdrojů energie.

Nová zelená úsporám podporuje:

- Renovace rodinných a bytových domů (zateplení fasády, střechy, stropů, výměna oken a dveří)
- Stavbu rodinných a bytových domů v tzv. pasivním standardu (pasivní domy)
- Solární termické a fotovoltaické systémy
- Zelené střechy
- Využití tepla z odpadní vody
- Systémy řízeného větrání se zpětným získáváním tepla (ZZT) – rekuperace
- Výměnu zdrojů tepla za tepelná čerpadla, kotle na biomas; (23)

Sledovaný parametr	Označení [jednotky]	Podoblast podpory B.0	Podoblast podpory B.1	Podoblast podpory B.2
Měrná roční potřeba tepla na vytápění	E_A [kWh.m ⁻² .rok ⁻¹]	–	≤ 20	≤ 15
Měrná neobnovitelná primární energie	$E_{pN,A}$ [kWh.m ⁻² .rok ⁻¹]	≤ 120	≤ 90	≤ 60
Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici	U [W.m ⁻² .K ⁻¹]	≤ U_{rec}	≤ U_{pas}	≤ U_{pas}
Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy	U_{em} [W.m ⁻² .K ⁻¹]	≤ 0,7· $U_{em,N}$	≤ 0,22	≤ 0,22
Průvzdušnost obálky budovy po dokončení stavby	n_{50} [1.h ⁻¹]	≤ 1,0	≤ 0,6	≤ 0,6
Nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období	$\theta_{ai,max}$ [°C]	≤ 27 °C	≤ 27 °C	≤ 27 °C
Povinná instalace systému nuceného větrání se zpětným získáváním tepla	[-]	ano	ano	ano

Tabulka č. 5 – Požadované parametry budov - NZU

Zdroj: [<https://www.novazelenausporam.cz/nabidka-dotaci/rodinne-domy-vystavba/>]

Ve výše uvedené tabulce jsou uvedeny základní požadavky na nové stavby v pasivní standardu. Na základě splnění těchto požadavků mohou stavby dosáhnout na tři stupně dotace.

- Oblast podpory B.0 – jednorázová částka 150 000,- Kč,
- Oblast podpory B.1 – jednorázová částka 300 000,- Kč,
- Oblast podpory B.2 – jednorázová částka 450 000,- Kč (23)

4.3 PROSTÁ NÁVRATNOST

Jedná se o nejjednodušší formu vyjádření návratnosti investice. Jedná se o počet let za které se peněžní příjmy (úspora nákladů) z investice vyrovnají počátečnímu kapitálovému výdaji. Tento vztah lze vyjádřit rovnicí: (24)

$$TN_p = \frac{IN}{CF}$$

Kde: IN – investiční náklady,

CF – roční příjem/úspora nákladů

4.4 ČISTÁ SOUČASNÁ HODNOTA

Čistá současná hodnota je finanční veličina vyjadřující celkovou současnou hodnotu všech peněžních toků souvisejících s investičním projektem, jedná se o jeden z nejvhodnějších a nejpoužívanějších ukazatelů.

Hlavní výhodou tohoto kritéria je zohlednění faktoru času. Čistá současná hodnota se používá jako kritérium pro hodnocení výnosnosti investičních projektů. NPV – Net Present Value . (24)

$$NPV = \sum_0^t \frac{CF}{(1+i)^n}$$

Kde: CF – peněžní tok,

i – úroková míra,

n – počet let, po které musíme čekat na příjem

Úroková míra je zde nástroj, který přepočítává budoucí peněžní toky na současnou hodnotu, tímto zohledňuje faktor času a rizika. Pro naše potřeby, ve stavebnictví, je běžné uvažovat úrokovou míru jako 3,5 – 5 %. (25)

4.5 VNITŘNÍ VÝNOSOVÉ PROCENTO

Vnitřní výnosové procento (IRR - Internal Rate of Return) udává relativní výnos (rentabilitu), kterou projekt během svého životního cyklu poskytuje. Čím vyšší je IRR, tím vyšší je návratnost investice. Číselně je rovna diskontní sazbě, při které je čistá současná hodnota rovna nule.

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t}$$

Kde: IRR – vnitřní výnosové procento,

CF_t – peněžní toky v jednotlivých letech,

n – doba životnosti projektu

4.6 VÝCHOZÍ PŘEDPOKLADY

Návratnost investice do pasivního domu je velmi diskutovanou otázkou posledního desetiletí a byla již provedena řada studií. Teoretický přehled těchto výzkumů je následující.

Vícenáklady na pasivní dům oproti domu standardnímu se v různých zemích Evropy pohybují od 0 do 17 %, s průměrnou hodnotou 8 %. (26) Adenauert ve svém výzkumu uvádí, že pro Belgii se jedná o 16 %. (27) Mahdavi s Doppelbauerovou zase 5 % pro výzkum ve Vídni. (28)

Návratnost investice do pasivního domu je silně závislá na mnoha parametrech, konkrétních podmínkách, ceně energie, jejím vývoji a na předpokládané diskontní sazbě. Galvin uvádí, že tato návratnost se v závislosti na výše zvolených podmínkách pohybuje v rozmezí 8 až 25 let. V této studii je uvažována diskontní sazba 3 až 8 % a předpokládaný vývoj ceny energie, respektive její meziroční zdražení až 10 %. (29) Výzkum na pasivním domu v Koreji uvádí, že dodatečné vícenáklady jsou do 5 % a předpokládaná doba návratnosti 8 až 22 let. (30) Smola ve své knize uvádí návratnost investice do PD v horizontu 10-15 let v závislosti na rozsahu řešení. (3)

5 STANOVENÍ DOBY NÁVRATNOSTI INVESTICE

Nově se od roku 2020 budou moci stavět pouze domy s téměř nulovou spotřebou energie a tento plán tak bude do budoucna výstavbu jiných domů vylučovat. Jak již bylo dříve zmíněno, tyto požadavky nejsou tak striktní, jako je pasivní standard. Nicméně se jedná o další snižování nákladů na energie a s tím nutné snížení energetické náročnosti budov a tedy i přiblížení k pasivnímu standardu. Bude stále nadále na investorovi, zda se pro pasivní stavbu, nebo stavbu s velmi podobnými parametry rozhodne. Toto rozhodování by se v neposlední řadě mělo zakládat i jisté ekonomické úvaze. Cílem této práce je stanovit předpokládané vícenáklady a následně rozebrat předpokládanou dobu návratnosti této investice.

V následující části, na dvou konkrétních stavbách, budou podrobně rozebrány nutné vícenáklady na stavbu. Každá stavba bude prvně ohodnocena a vyčíslena její cena ve standardní variantě, kterou lze dnes brát jako nízkoenergetickou. Po vyčíslení hodnoty takovéto investice, z podrobného položkového rozpočtu, budou především stanoveny parametry obálky budovy a její energetická náročnost. Na základě těchto parametrů budou potom provedeny úpravy tak, aby se stavba teoreticky přiblížila co nejvíce pasivnímu standardu. Zejména za pomoci úpravy tepelně technických vlastností obálky budovy a případně dalších úprav tak, aby bylo dosaženo požadované spotřeby energie pro pasivní domy. S tímto krokem bude kladen i důraz na splnění součinitelů tepelné prostupnosti jednotlivých konstrukcí. Dále budou provedeny stavební a technické úpravy, které budou zlepšovat průvzdušnost obálky, tento parametr je však vždy v praxi dále nutné ověřit zkouškou, abychom dům mohli za pasivní označit. Pro tyto účely jsou stanoveny i vícenáklady na tuto zkoušku a také nutné nucené větrání. Dále bude oproti standardní výstavbě, kde by byla přípustná energie na chlazení, nevyhnutelné provést dodatečné stínění, aby se pasivní stavba v letních měsících nadměrně nepřehřívala. Potřeba měrné neobnovitelné energie v této práci nebude podrobněji zkoumána, ale je pravděpodobné, že i tato podmínka bude ve variantě s tepelným čerpadlem splněna. Všechny tyto nutné úpravy budou dále brány jako nutné vícenáklady na pasivní stavbu s požadovanou spotřebou energie.

Hodnocení je především zaměřeno na návratnost investice z pohledu různých variant a možností. Klíčové pro toto hodnocení je tedy stanovit výši nutné investice pro dodatečné úpravy a jejich konkrétní zhodnocení z pohledu úspory energie. Obecně zde není nutnou podmínkou dosáhnout pasivního standardu, který je navíc v praxi silně závislý na dalších zcela individuálních podmínkách, především umístění konkrétní stavby. Hodnocení bude provedeno v horizontu následujících 30 až 50 let, což je přibližně doba, po kterou si stavba nebude vyžadovat žádné výraznější náklady na údržbu.

5.1 RODINNÝ DŮM 1 – STAVBA S PODKROVÍM

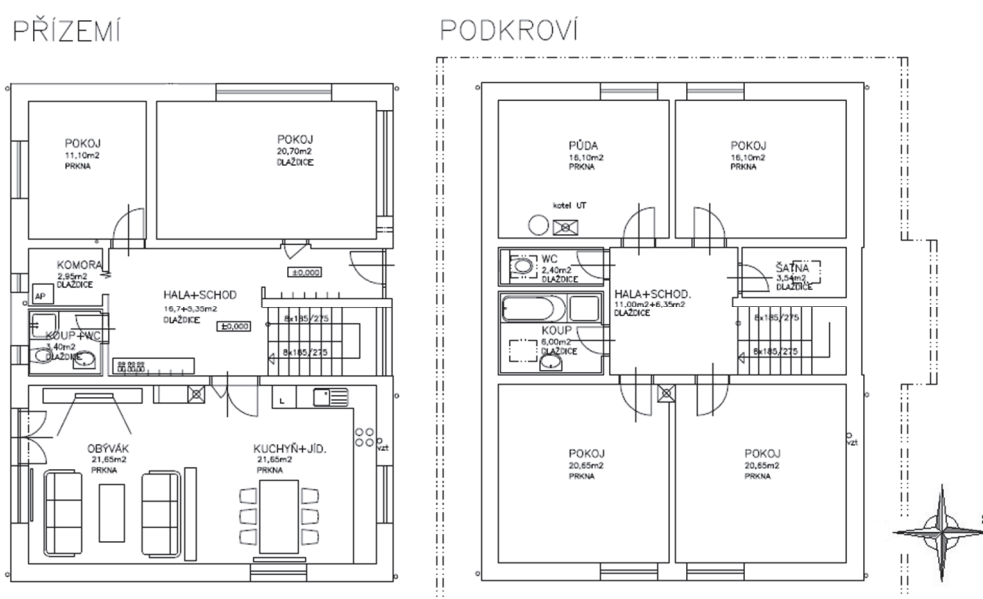
5.1.1 Stručný popis stavby

Jedná se o nepodsklepenou dvoupodlažní stavbu se sedlovou střechou. Druhé podlaží je, řešeno jako podkroví. Hlavní fasáda, kde jsou situovány větší prosklené plochy je orientována na jih. Na protilehlé fasádě je umístěn vstup do objektu, který je chráněn dřevěným přístřeškem vytvořeným protažením střechy.



Obrázek č. 17 – Severní pohled na fasádu

Zdroj: [projektová dokumentace]



Obrázek č. 18 – Dispoziční řešení

Zdroj: [projektová dokumentace]

V přízemí se nachází obývací pokoj s kuchyňským koutem a dva pokoje. Ze vstupní haly je poté možné vstoupit do menší komory, na toaletu, nebo na přilehlé schodiště do dalšího podlaží. V tomto podlaží se nachází hlavní koupelna, tři ložnice a půda s technickým zázemím domu. S výjimkou sedlové střechy využitě jako obytné podlaží, navíc s trojicí střešních oken, má dům dispozičně dobré předpoklady pro možný pasivní standard.

Konstrukčně je dům řešen jako zděná stavba z keramických tvárnic bez dodatečného zateplení. Stavba je založena na základových pasech. Stropní konstrukce nad první podlažím je řešena jako železobetonová monolitická deska. Střecha je sedlová, řešená jako hambálek s vloženou izolací ve formě minerální vlny. Stavba je vytápěna teplovodním podlahovým systémem za pomoci elektrického kotle.

Nosná obvodová stěna, která tvoří nedílnou součást obálky budovy je zde tvořena keramickými tvárnicemi Porothersm 44 s bez dodatečného zateplení. Tato skladba dosahuje hodnoty prostupu tepla $U=0,26 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

Základní tepelně technické vlastnosti všech konstrukcí byly stanovovány za pomoci interaktivní kalkulačky na webových stránkách <https://stavba.tzb-info.cz/>, všechny tyto výpočty tvoří přílohu této práce. Je zde nutné stanovit okrajové podmínky, především teploty prostředí a skladbu jednotlivých vrstev konstrukce včetně příslušného součinitele prostupu tepla.

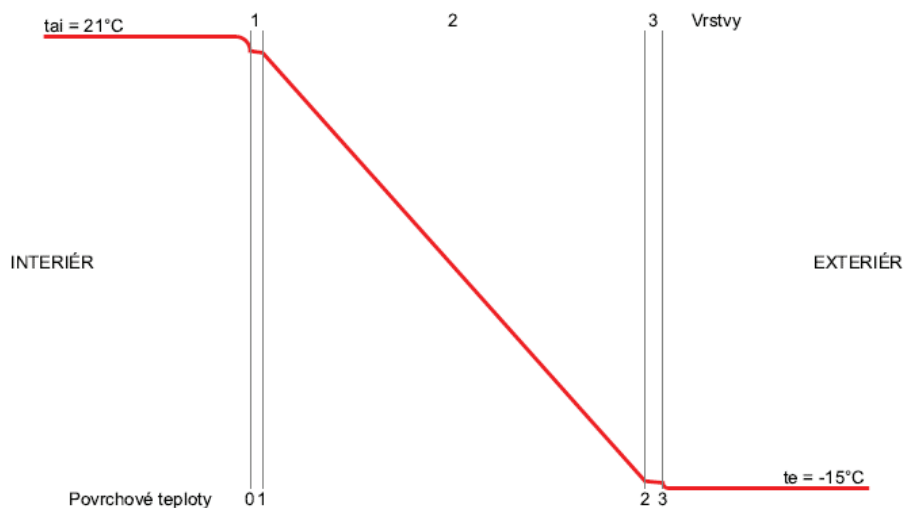
TYP KONSTRUKCE

stěna obvodová		jednoplášťová konstrukce				
Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce R_{si}						
		0.13	$\text{m}^2\text{K/W}$	$\theta_0 = 19.4\text{ }^\circ\text{C}$		
j	Materiál	$d\text{ [m]}$	$\lambda_u\text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$	$R_j\text{ [m}^2\text{K/W}\text{]}$	$\theta_j\text{ [}^\circ\text{C}\text{]}$	
1	<input checked="" type="checkbox"/> Omítká vápenná	0,015	0,88	0.017	19.24	↓
2	<input checked="" type="checkbox"/> Porotherm 44 Profi Dryfix	0,440	0,121	3.636	-14.44	↑ ↓
3	<input checked="" type="checkbox"/> Omítká vápenocementová	0,02	0,99	0.02	-14.63	↑
Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce R_{se}				0.04	$\text{m}^2\text{K/W}$	$\theta_e = -15\text{ }^\circ\text{C}$

Obrázek č. 19 – Skladba jednotlivých vrstev konstrukce

Zdroj:[výpočtový protokol z <https://stavba.tzb-info.cz/>]

Následně zde můžeme sledovat na přehledně vykresleném schématu průběh teplot v konstrukci, které mohou mít význam například při stanovování kondenzace vodních par v konstrukci. Dále jsou zde vidět povrchové teploty konstrukce.



Obrázek č. 20 – Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí

Zdroj:[výpočtový protokol z <https://stavba.tzb-info.cz/>]

Výsledkem je vyhodnocení konstrukce a stanovení součinitele prostupu tepla konstrukce, včetně jeho převrácené hodnoty tedy tepelného odporu. Součástí tohoto výstupu je i posudek, zda konstrukce vyhovuje požadované hodnotě a další doporučené hodnoty, například pro pasivní stavby.

VYHODNOCENÍ KONSTRUKCE

Součinitel prostupu tepla konstrukce $U = 0.26 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$	Odpor při prostupu tepla konstrukce $R_T = 3.84 \text{ m}^2.\text{K/W}$
dle ČSN 73 0540-4 a ČSN EN ISO 6946	

POROVNÁNÍ S POŽADAVKY ČSN 73 0540-2:2011

Posuzovaná konstrukce
 Převažující návrhová vnitřní teplota většiny prostorů v objektu θ_{in} °C

Součinitel prostupu tepla konstrukce $U = 0.26 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ VYHOVUJE požadované hodnotě $U_N = 0.3 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ dle ČSN 73 0540-2:2011

Požadovaná hodnota $U_{N,20}$	Doporučená hodnota $U_{\text{rec},20}$	Doporučená hodnota pro pasivní budovy $U_{\text{pas},20}$
0,30 $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$	0,25 $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$	0,18 až 0,12 $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$

Obrázek č. 21 – Vyhodnocení konstrukce

Zdroj:[výpočtový protokol z <https://stavba.tzb-info.cz/>]

Výplně otvorů jsou tvořeny převážně okny s dřevěnými rámy s izolačními dvojskly, součinitel prostupu tepla těchto konstrukcí je $U=1,2 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$. Střešní konstrukce s minerální vlnou Isover UNI dosahuje hodnoty $U=0,21 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ a podlaha nad terénem, jejíž skladba je doplněna o 100 mm vytlačovaného polystyrenu hodnoty $U=0,30 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$.

5.1.2 Energetická náročnost standardního domu

Na základě tepelně technických vlastností konstrukcí obálky budovy, jejích rozměrů, orientace ke světovým stranám a dalších parametrů je možné stanovit roční měrnou potřebu na vytápění pro tuto konkrétní stavbu. K tomuto účelu je v této práci využita studentská verze programu Energie 2016. Pro výpočet je nutné stanovení dalších parametrů, které mají na výsledek vliv. Tyto parametry zahrnují například počet osob, ale také třeba intenzitu výměny vzduchu nebo vliv tepelných vazeb. Všechny konkrétní hodnoty jsou dohledatelné ve výstupních protokolech s výpočtem, které jsou pro jednotlivé varianty součástí této práce.

Nejdůležitější hodnotou, nepostradatelnou pro další výpočty, je celková měrná potřeba tepla na vytápění budovy. U tohoto domu, ve standardním provedení, tedy bez úprav je na základě výpočtu stanovena na 13,018 MWh. Tato hodnota nicméně není konečná a je k ní potřeba připočítat ještě energii potřebnou na pokrytí ztrát sdílením tepla a také energii na distribuci v domě. Pro naše potřeby bude tato energie uvažována jako 5 % navíc. Výsledná spotřeba bude následně 13,669 MWh.

5.1.3 Náklady na dům ve standardním provedení

Náklady na stavbu byly stanoveny pomocí individuální cenové kalkulace na základě položkového rozpočtu. Jednotlivé položky, včetně výkazu výměr, jsou určovány z projektové dokumentace. Položkové rozpočty i projektové dokumentace jednotlivých staveb tvoří přílohu této práce. Základní projektová dokumentace staveb není prováděcí a některé údaje o konstrukcích neobsahuje, tyto byly adekvátně zvoleny pro účely této práce. V rozpočtu jsou zohledněny pouze položky, které bezprostředně souvisejí s výstavbou domu. Další okolnosti, jak jsou například okolní terénní úpravy, případně další objekty, nejsou v cenové kalkulaci zahrnuty. V praxi by na celkovou cenu rodinného domu měly tyto okolnosti podstatný vliv. Pro účel této práce je vhodnější stanovit pouze izolovanou cenu stavby. Následné vícenáklady, respektive jejich poměr k původní stavbě, bude brán pouze jako rozdíl nákladů na stavbu.

Náklady na stavbu prvního rodinného domu ve standardním provedení byly na základě položkového rozpočtu stanoveny na 5 218 735,- Kč.

5.1.4 Změny nutné k dosažení parametrů pasivní stavby

V tomto kroku je nutné dále definovat nutné změny, které bude potřeba provést. Díky těmto změnám bude možné dosáhnout jednak parametrů pasivní stavby, ale především úspory celkové měrné potřeby tepla na vytápění budovy. Obecně bude zásadní zlepšit tepelně technické vlastnosti obálky budovy, minimalizovat tepelné mosty a snížit průvzdušnost budovy. Dále bude třeba provést konstrukční úpravy a maximalizovat solární zisky, to hlavně vhodnými úpravami prosklených ploch, především jejich velikost a orientaci. S těmito změnami bude souviset nutnost instalace nuceného větrání s rekuperací a také potřeba stínění skleněných ploch v letních měsících.

Konkrétní výčet změn:

- Změna obvodového zdiva na vícevrstvou konstrukci při zachování stejné tloušťky. Menší tvarovky Porotherm 25 budou doplněny vrstvou tepelné izolace Isover Greywall. Díky této úpravě je možné u obvodové zdiva dosáhnout zlepšení součinitele prostupu tepla z původní hodnoty $U=0,26 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ na hodnotu $U=0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.
- Doplnění izolace do konstrukce střešního pláště. Zde je nutné provést doplnění izolační vrstvy z původních 16 cm na 32 cm. Dále bude místo původní minerální vlny Isover UNI použit Isover Multimax, který má lepší tepelně technické vlastnosti. Na základě této změny je možné dosáhnout zlepšení součinitele prostupu tepla z původní hodnoty $U=0,21 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ na hodnotu $U=0,11 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.
- Úprava skladby konstrukce podlahy, která je přilehlá k terénu v nejnižším podlaží. Původních 10 cm vytlačovaného polystyrenu je zde nahrazeno novou vrstvou 15 cm EPS Grey. Tato úprava vede na zlepšení součinitele prostupu tepla z původní hodnoty $U=0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ na hodnotu $U=0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.
- Výměna výplní otvorů z původních oken s izolačními dvojskly, na okna s izolačními trojskly. Na základě této změny je možné dosáhnout zlepšení součinitele prostupu tepla z původní hodnoty $U=1,20 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ na hodnotu $U=0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Dále budou vyměněny i vchodové dveře, které mají jednak lepší tepelně technické vlastnosti, ale také speciální mechanismus přispívající k lepší vzduchotěsnosti.
- Kvůli zvýšení solárních zisků okny na jižní fasádě a zmenšení tepelných ztrát okny na fasádě severní jsou nutné navíc provést i úpravy ve jednotlivých velikostech a orientaci oken. Jedná se o zvětšení dvou jižních oken z původního rozměru 1500x1500mm na 1500x2350mm. Stejná změna musí být provedena i u dvou totožných oken na západní fasádě ve druhém podlaží. Na této fasádě bude také zvětšeno okno v prvním podlaží a to z původního rozměru 3000x500mm na 3000x1500mm. Toto okno navíc svojí velikostí nahradí další okno ve stejné místnosti na severní straně, které bude tedy vzhledem ke svému nevhodnému umístění, úplně zrušeno. Další změna se dotkne kuchyňského okna

na severní straně, to bude zmenšeno z původního rozměru 1500x1500mm na 1500x500mm.

- Další parametr, který vyžaduje patřičné zlepšení je vzduchotěsnost obálky budovy. Původní hodnota 3 h^{-1} bez zpětného získávání tepla by měla nepříznivý vliv na teplené ztráty. Cílová hodnota, které chceme u pasivní stavby dosáhnout by měla být menší než $0,6 \text{ h}^{-1}$. Je tedy nevyhnutelné provést dodatečné utěsnění, pomocí těsnících pásků u výplní otvorů a také pomocí parotěsné fólie ve skladbě střešní konstrukce. Všechny prostupy touto vzduchotěsnou obálkou je dále nutné realizovat se zvýšenou pozorností za pomoci těsnících prvků. Výslednou hodnotu je potřeba následně ověřit zkouškou, jejíž náklady jsou také zohledněny.
- S předchozím bodem úzce souvisí i nutnost instalace nuceného větrání se zpětným získáváním tepla. Účinnost zpětného získávání tepla je uvažována minimálně jako 80 %, což je běžně dosažitelný parametr.
- Nutnost instalace stínění, především pro okna na jižní, popřípadě východní a západní fasádě. Na tyto vybrané prosklené plochy budou instalovány předokenní žaluzie, které budou v letních měsících zabraňovat přehřívání interiéru. S tímto požadavkem souvisí nutnost instalace boxů pro žaluzie ve fasádě a také speciálních izolačních konzol, které tyto boxy budou držet.
- Zvýšená pozornost při řešení tepelných mostů a tím zmenšení vlivu teplených vazeb z původních 5 % na 2 %. To si vyžádá především kotvení předokenních žaluzií a kotvení všech prostupů pomocí speciálních izolačních prvků, například výrobky Compacfoam.

Všechny tyto změny naplňují předpoklady z kapitoly 3.3.6. Jednotlivé body a požadavky se svojí podstatou shodují s provedenými změnami a žádný z bodů nebyl vynechán.

5.1.5 Náklady na dům v pasivním provedení – po úpravách

Na základě výše uvedených změn byl vypracovaný nový položkový rozpočet, kde jsou všechny tyto změny zapracovány.

Náklady na stavbu prvního rodinného domu po úpravách na dům pasivní byly na základě položkového rozpočtu stanoveny na 5 922 848,- Kč.

Vícenáklady tedy činí 612 273,- Kč, což představuje navýšení o 13,5 %, proti standardnímu domu.

5.1.6 Energetická náročnost na dům v pasivním provedení

Po úpravách bylo také potřebné znovu provést výpočet energetické náročnosti budovy. To znamená především zahrnout změny tepelně technických vlastností obálky budovy, její vzduchotěsnost, tepelné vazby, ale i účinnost zpětného získávání tepla a orientaci nových otvorů.

Celková měrná potřeba tepla na vytápění budovy po úpravách je na základě výpočtu stanovena na 4,339 MWh, po zahrnutí ztrát a distribuce 4,556 MWh. To odpovídá 20 kWh/(m².a) a požadavků na pasivní dům. Celkový rozdíl činí 9,11 MWh, což představuje snížení o 66,7 %.

5.1.7 Bilance změn

Číslo	Název	ND Celkem	PD Celkem	Rozdíl v Kč
1	Zemní práce	40 958,24	40 958,24	0,00
2	Základy a zvláštní zakládání	60 347,51	60 347,51	0,00
3	Svislé a kompletní konstrukce	896 653,37	847 626,89	-49 026,48
4	Vodorovné konstrukce	367 546,33	356 288,11	-11 258,22
61	Úpravy povrchů vnitřní	323 466,06	323 466,06	0,00
62	Úpravy povrchů vnější	95 961,71	260 293,14	164 331,43
63	Podlahy a podlahové konstrukce	223 754,11	223 754,11	0,00
64	Výplně otvorů	8 062,55	8 062,55	0,00
94	Lešení a stavební výtahy	43 642,74	43 642,74	0,00
95	Dokončovací konstrukce na po. stavbách	26 265,91	26 265,91	0,00
99	Staveništní přesun hmot	97 101,12	91 022,69	-6 078,43
711	Izolace proti vodě	47 816,89	47 816,89	0,00
712	Povlakové krytiny	0,00	5 188,00	5 188,00
713	Izolace tepelné	129 621,87	202 230,14	72 608,27
721	Vnitřní kanalizace	61 350,00	61 350,00	0,00
722	Vnitřní vodovod	53 150,00	53 150,00	0,00
725	Zařizovací předměty	57 233,00	57 233,00	0,00
731	Kotelny	20 645,00	20 645,00	0,00
736	Podlahové vytápění	378 954,73	378 954,73	0,00
762	Konstrukce tesařské	278 572,26	278 572,26	0,00
764	Konstrukce klempířské	108 558,60	108 558,60	0,00
765	Krytiny tvrdé	211 532,84	229 303,49	17 770,65
766	Konstrukce truhlářské	451 502,76	556 076,18	104 573,42
771	Podlahy z dlaždic a obklady	172 849,97	172 849,97	0,00
775	Podlahy vlysové a parketové	98 672,90	98 672,90	0,00
781	Obklady keramické	41 279,64	41 279,64	0,00
783	Nátěry	30 168,92	30 168,92	0,00
784	Malby	42 361,28	42 361,28	0,00
786	Čalounické úpravy	0,00	199 164,00	199 164,00
M21	Elektromontáže	150 000,00	150 000,00	0,00
M24	Montáže vzduchotechnických zařízení	0,00	95 000,00	95 000,00
VN	Vedlejší náklady	20 000,00	40 000,00	20 000,00

Tabulka č. 6 – Rozdílné náklady na standardní a pasivní stavbu

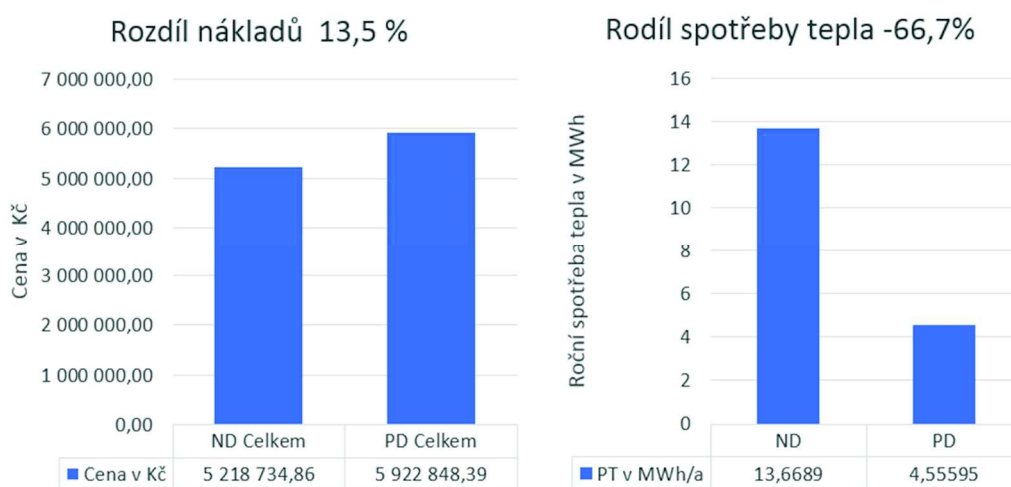
Zdroj: [autor]

Z předcházející tabulky jsou jasně patrné rozdílné náklady na standardní a pasivní stavbu plynoucí z nutných úprav. Zeleně jsou zvýrazněny rozdíly, kde jsou dokonce náklady ušetřeny. U dílu svislých a kompletních konstrukcí je to způsobeno tím, že je po úpravách použita menší tloušťka stěny, je tedy potřeba méně zdiva. Obdobně je tomu u vodorovných konstrukcí, kde je o něco menší železobetonová stropní deska. Tyto změny se dále promítají také u staveništního přesunu hmot. Naopak vícenáklady jsou nutné u všech dílů, kde je rozdíl zvýrazněn barvou oranžovou. U úprav vnějších povrchů se jedná především o zateplovací systém, kotvení kastlíků

pro rolety a také speciálních izolačních kotev například pro svody dešťové vody. V povlakových krytinách jsou započteny prostupy parozábranou, v tepelných izolacích zase nutné navýšení tepelných izolací například v podlaze. U dílu tvrdých krytin se do výsledného rozdílu promítá nutný rošt z OSB desek, který je využit v konstrukci krovu pro tepelnou izolaci a parozábranu. Pod konstrukce truhlářské spadají především výplně otvorů tedy okna a vchodové dveře. Mezi čalounické úpravy zde patří vícenáklady na předokenní žaluzie, tedy dodatečné stínění. Další z významnějších položek je montáž vzduchotechniky, v oddílu montáže vzduchotechnických zařízení. Vícenáklady uzavírají oddíl vedlejších nákladů, kde jsou zohledněny náklady na zkoušky vzduchotěsnosti.

Suma celkových vícenákladů je v tomto konkrétním případě 612 273,- Kč. Což je navýšení investičních nákladů o 13,50 %.

Rozdíl celkové měrné spotřeby tepla na vytápění budovy po úpravách a před úpravami je 9,11 MWh za rok, což představuje úsporu 66,7 %.



Graf č. 2 – Porovnání nákladů a spotřeby v ND a PD;

Zdroj: [autor]

5.1.8 Cena elektrické energie

K určení ekonomické návratnosti investice potřebujeme ještě třetí údaj. Tímto údajem je cena elektrické energie. Tuto cenu je potřeb stanovit na základě předpokládaného tarifu a spotřeby energie. U našeho konkrétního domu lze předpokládat sazbu D 45 - Dvoutarifová sazba s operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu po dobu 20 hodin. Předpokládaný jistič bude 3x25 A. Za tento jistič by jsme měli měsíčně zaplatit 436,-Kč (E.ON) s cenou za 1 MWh 2498,9 Kč. Pokud tuto částku vynásobíme naší spotřebou, přičteme roční cenu za jistič a tento součet podělíme zase spotřebou energie, dostáváme se na částku 3,647 Kč za KWh $((4,556 \cdot 2498,9 + 12 \cdot 436) / 4,556 / 1000 = 3,647)$.

Nicméně cena elektrické energie se v čase vyvíjí a je tedy vhodné na tento vývoj nahlédnout i z dlouhodobějšího hlediska. Především při výpočtu dlouhodobější investice budeme tento vývoj na návratnost nezanedbatelný vliv. Předpokládejme tedy stejný tarif a stejný jistič se zpětným pohledem na vývoj energie za posledních 15 let. Předchozí výpočet tedy provedeme analogicky pro ceny energií v jednotlivých letech. Data jsou brány ze stránky: <https://www.tzb-info.cz/>.

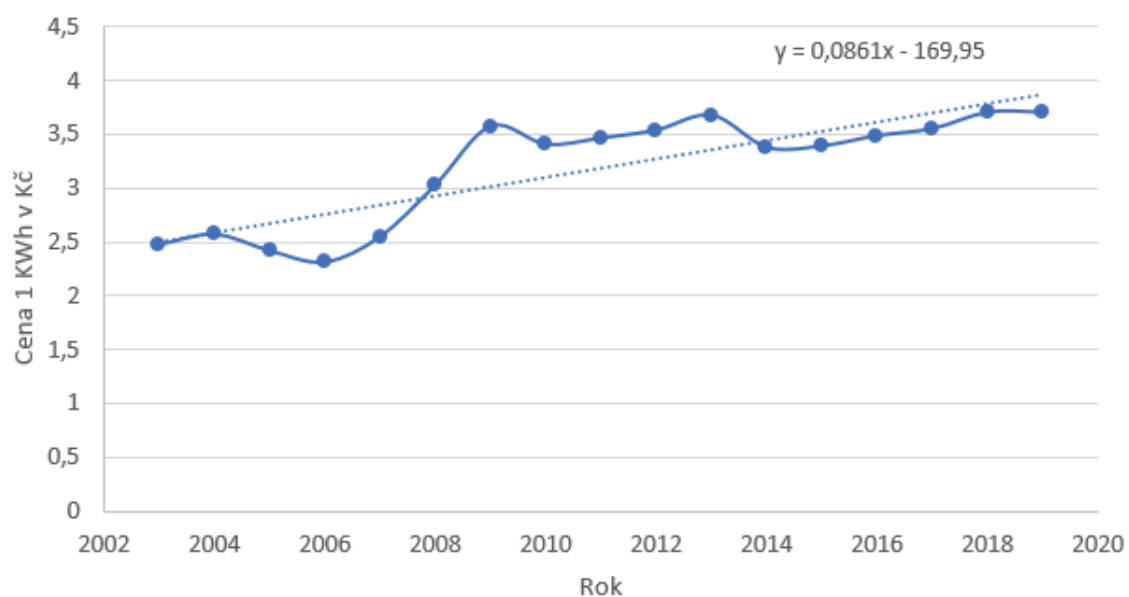
2018		2017		2016	
Cena 1 MWh v Kč:	2498,9	Cena 1 MWh v Kč:	2394,61	Cena 1 MWh v Kč:	2401,6
Jistič měsíčně v Kč:	436,08	Jistič měsíčně v Kč:	418,54	Jistič měsíčně v Kč:	392,74
Spotřeba MWh/rok:	4,556	Spotřeba MWh/rok:	4,556	Spotřeba MWh/rok:	4,556
Cena 1 KWh v Kč:	3,647499	Cena 1 KWh v Kč:	3,49701	Cena 1 KWh v Kč:	3,436045

Tabulka č. 7 – Princip výpočtu v jednotlivých letech

Zdroj:[autor]

Po stanovení ceny elektrické energie v jednotlivých letech je možné vykreslit vývoj ceny do přehledného grafu. Tímto grafem lze poté proložit křivku. Z rovnice této křivky je patrné že průměrné meziroční zdražení je 8,61%

Vývoj ceny energie od 2003 do 2019



Graf č. 3 – Vývoj ceny energie

Zdroj: [autor]

Z tohoto grafu je jednoznačně patrné že vývoj ceny energie má stoupající tendenci. Při dalších výpočtech můžeme teoreticky počítat s výše vypočteným meziročním navýšením. Při konzervativním přístupu lze použít i menší hodnotu, nicméně trend je jednoznačný.

5.1.9 Prostá návratnost

Jedná se o počet let za které se peněžní příjmy (úspora nákladů) z investice vyrovnají počátečnímu kapitálovému výdaji. Tento vztah lze vyjádřit rovnicí: (24)

$$TN_p = \frac{IN}{CF}$$

Kde: IN – investiční náklady,

CF – roční příjem/úspora nákladů

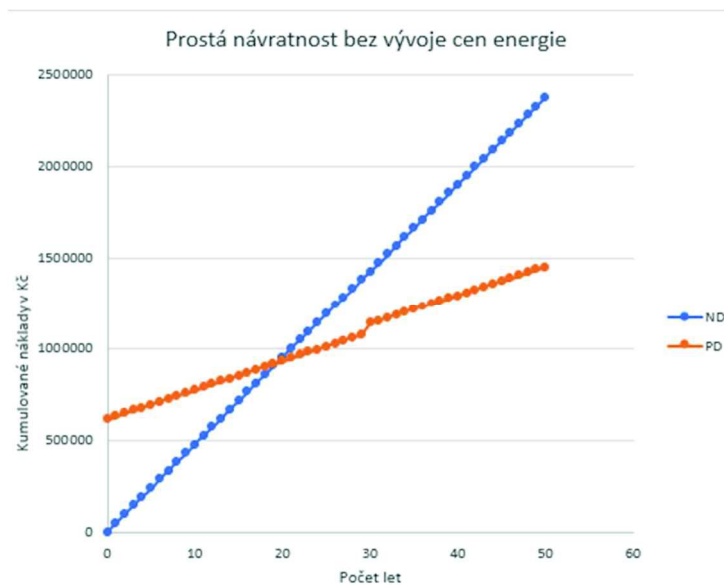
Vícenáklady na splnění pasivního standardu (612 273,- Kč) jsou tedy počáteční investice neboli investiční náklady. Roční úspora se vypočte jako průměrná uspořená energie za rok (13,668-4,559=9,113 MWh). Z ceny energie lze tedy vypočíst roční úsporu nákladů:

$$9113 \times 3,647 = \underline{33\,239,48,- \text{ Kč}}$$

Z toho návratnost investice:

$$612\,273 / 33\,239,18 = \underline{18,42 \text{ let}}$$

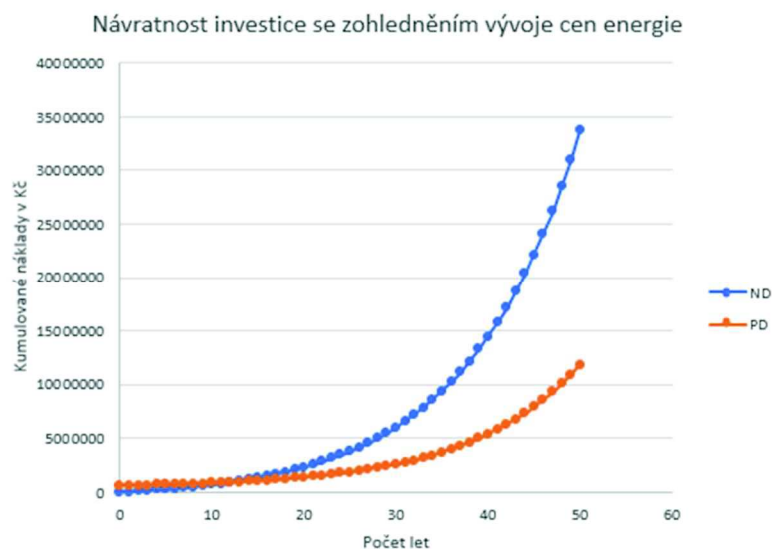
To vše je velmi přehledně vidět na následujícím grafu. Modrá spojnice vyjadřuje součet nákladů v jednotlivých letech na vytápění pro standardní dům. Oranžově jsou znázorněny součty nákladů pro dům pasivní. Je vidět že v devatenáctém roku se obě úsečky protínají a počáteční investice je tedy navracena. Ve třicátém roce jsou uvažovány další nutné náklady na vzduchotechniku, ve výši ½ počátečních nákladů na vzduchotechniku. Předpokládá se, že například rozvody vzduchu a další části lze ponechat. Tyto dodatečné náklady představují 47 500,- a jsou patrné v grafu u pasivního domu.



Graf č. 4 – Prostá návratnost bez vývoje cen energie – D1

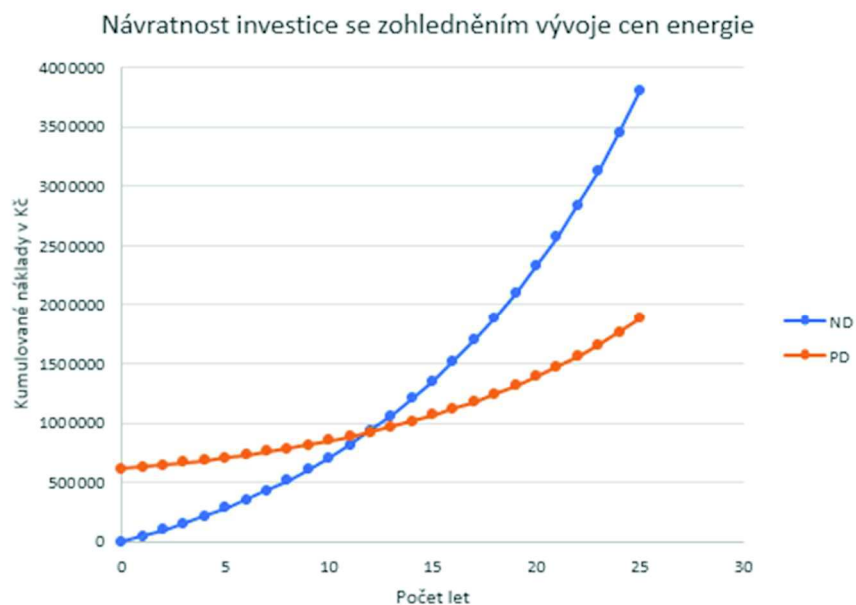
Zdroj: [autor]

Pokud zohledníme i vývoj cen energie, tedy průměrné meziroční zdražení o 8,61% návratnost investice se zkrátí na 11,49 let. To je možné vidět na následujících dvou grafech, které ukazují totéž, liší se pouze osa x a počet let – druhý graf je přehlednější (zobrazeno 25 let), na prvním je patrný celkový přehled (horizont 50 let).



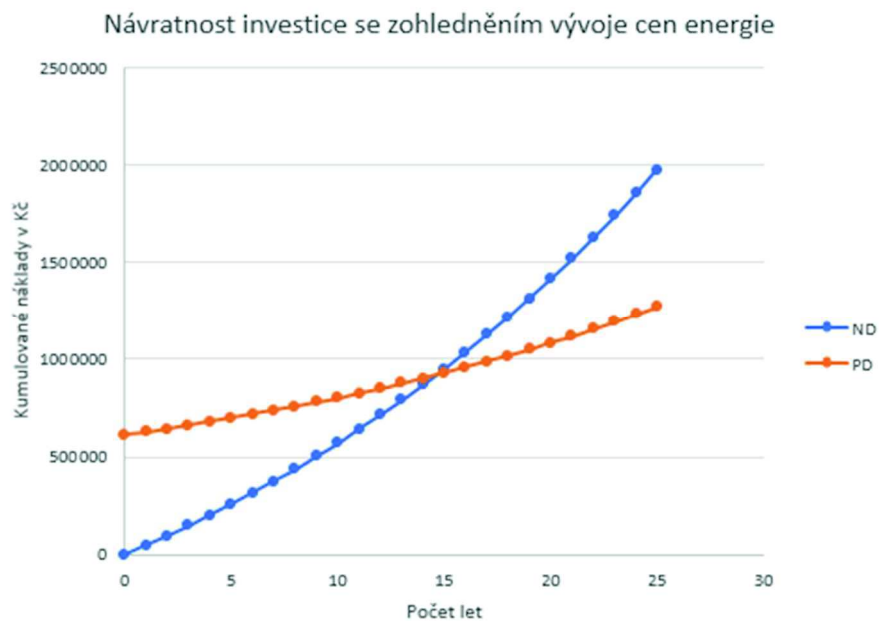
Graf č. 5 – Návrstnost investice se zohledněním vývoje cen energie (8,61 %) – D1

Zdroj: [autor]



Graf č. 6 – Návratnost investice se zohledněním vývoje cen energie (8,61 %; 25let) – D1

Zdroj: [autor]



Graf č. 7 – Návratnost investice se zohledněním vývoje cen energie (4 %) – D1

Zdroj: [autor]

Při konzervativním přístupu a hodnotě meziročního zdražení 4,0 % je návratnost 14,07 let.

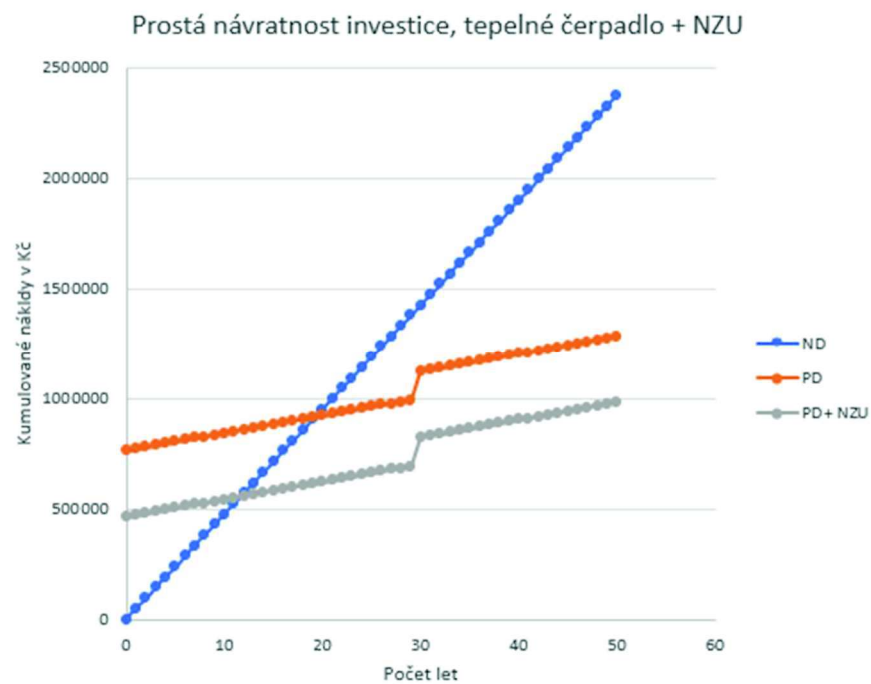
S instalací tepelného čerpadla by naše stavba měla splnit i podmínku primární neobnovitelné energie, která však není prokázána výpočtem. Díky tomu by pak mohla dosáhnout na dotaci z programu Nová zelené úsporám – konkrétně na podoblast podpory B1. Tato podpora by byla konkrétně 300 000,- Kč

Sledovaný parametr	Označení [jednotky]	Podoblast podpory B.0	Podoblast podpory B.1	Podoblast podpory B.2
Měrná roční potřeba tepla na vytápění	E_A [kWh.m ⁻² .rok ⁻¹]	–	≤ 20	≤ 15
Měrná neobnovitelná primární energie	$E_{pN,A}$ [kWh.m ⁻² .rok ⁻¹]	≤ 120	≤ 90	≤ 60
Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici	U [W.m ⁻² .K ⁻¹]	≤ U_{rec}	≤ U_{pas}	≤ U_{pas}
Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy	U_{em} [W.m ⁻² .K ⁻¹]	≤ 0,7* $U_{em,N}$	≤ 0,22	≤ 0,22
Průvzdušnost obálky budovy po dokončení stavby	n_{50} [1.h ⁻¹]	≤ 1,0	≤ 0,6	≤ 0,6
Nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období	$\theta_{ai,max}$ [°C]	≤ 27 °C	≤ 27 °C	≤ 27 °C
Povinná instalace systému nuceného větrání se zpětným získáváním tepla	[-]	ano	ano	ano

Tabulka č. 8 – Požadované parametry budov – B1 - NZU

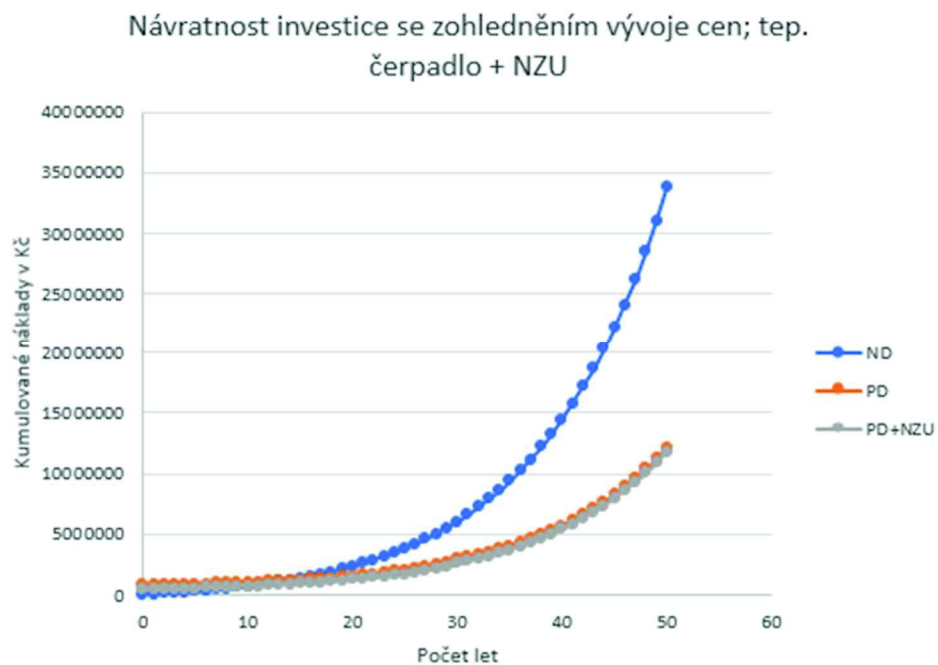
Zdroj:[<https://www.novazelenausporam.cz/nabidka-dotaci/rodinne-domy-vystavba/>]

Tepelné čerpadlo navíc ušetří část energie na vytápění, při konzervativním přístupu můžeme hodnotu topného faktoru stanovit jako 2. Tedy že ušetří polovinu tepla na vytápění. Moderní čerpadla jsou schopna dosahovat i lepších hodnot. Investice do takového čerpadla bude brána jako 150 000,- Kč. O tuto hodnotu nám vzroste počáteční investice, bude to tedy 762 273,- Kč. Pro přehlednější porovnání je uvažována stejná cena energie, nicméně je vhodné podotknout, že při nižší spotřebě by byla cena na jednotku nepatrně vyšší.



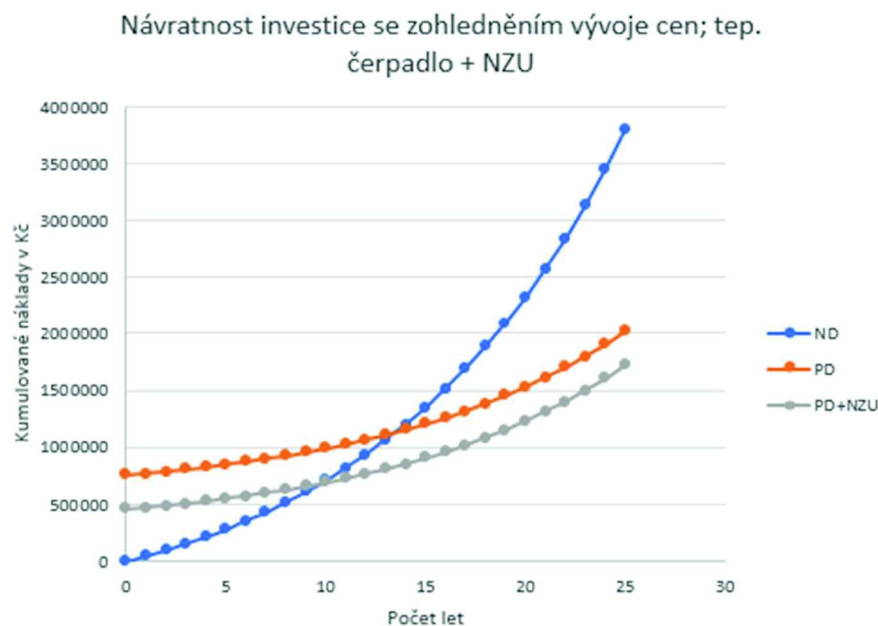
Graf č. 8 – Prostá návratnost investice, tepelné čerpadlo + NZU – D1

Zdroj: [autor]



Graf č. 9 – Návratnost investice se zohledněním vývoje cen, tepelné čerpadlo + NZU – D1

Zdroj:[autor]



Graf č. 10 – Návratnost investice se zohledněním vývoje cen, tepelné čerpadlo + NZU (25 l.) – D1

Zdroj: [autor]

Díky instalaci tepelného čerpadla je možné dosáhnout na podporu až 300 000,- Kč. Spotřeba energie na vytápění bude navíc pouze 2,28 MWh za rok. Na základě této skutečnosti se i tak doba návratnosti ve variantě bez vývoje ceny energie nezkrátí. To je způsobeno tím, že další úspora energie je sice poloviční, ale již z relativně malého čísla. To znamená, že další roční úspora není vůči velikosti počáteční investice tak velká. Doba návratnosti je v tomto případě 19,46 let. Pokud zahrneme předpokládaný vývoj ceny energie, doba návratnosti se výrazně zkrátí a to na 11,92 let. Vše se zásadně změní, pokud do výpočtu zahrneme ještě dotaci. V takovém případě bude návratnost 11,80, respektive 9,6 let s vývojem ceny energie.

Návratnost investice v podobě vícenákladů do pasivního domu se na základě výše zmíněného pohybuje od 9,6 do 19,5 let, v závislosti na zvolené variantě a vývoji cen elektrické energie. Všechny tyto doby návratností jsou menší než předpokládaná životnost technických zařízení, která se předpokládá na minimálně 30 let. Ovšem i s další předpokládanou investicí ve výši poloviny původních nákladů (tedy 122 500,-Kč) na technická zařízení se investice vyplatí a v horizontu 50 let přináší významné roční příjmy.

5.1.10 Čistá současná hodnota

Čistá současná hodnota je finanční veličina vyjadřující celkovou současnou hodnotu všech peněžních toků souvisejících s investičním projektem.

$$NPV = \sum_0^t \frac{CF}{(1+i)^n}$$

Kde: CF – peněžní tok, roční příjem/úspora nákladů,

i – úroková míra,

n – počet let, po které musíme čekat na příjem

Úroková míra je zde nástroj, který přepočítává budoucí peněžní toky na současnou hodnotu, tímto zohledňuje faktor času a rizika. Pro naše potřeby, ve stavebnictví dle Schneiderové, je běžné uvažovat úrokovou míru jako 3,5 – 5 %. (25) Spodní hranice je velmi konzervativní a odpovídá hodnotě s minimální mírou rizika. Některé výzkumy uvažují úrokovou míru i jako 8 %. (29) Pro další výpočty je uvažováno 5 %. Peněžní toky zde představují počáteční investici a dále roční úsporu nákladů za energie, která je buď fixní nebo se meziročně navyšuje s vývojem ceny energie.

Počet let	NPV	CF	NPV (vývoj cen e.)	CF (vývoj cen e.)
1	-552 967,61 Kč	-579 033,16 Kč	-552 967,61 Kč	-579 033,16 Kč
2	-524 254,10 Kč	-545 793,69 Kč	-521 781,87 Kč	-542 931,77 Kč
3	-496 907,91 Kč	-512 554,21 Kč	-489 523,93 Kč	-503 722,04 Kč
4	-470 863,91 Kč	-479 314,73 Kč	-456 156,94 Kč	-461 136,36 Kč
5	-446 060,10 Kč	-446 075,26 Kč	-421 642,75 Kč	-414 884,05 Kč
6	-422 437,42 Kč	-412 835,78 Kč	-385 941,93 Kč	-364 649,41 Kč
7	-399 939,63 Kč	-379 596,30 Kč	-349 013,69 Kč	-310 089,58 Kč
8	-378 513,17 Kč	-346 356,83 Kč	-310 815,81 Kč	-250 832,14 Kč
9	-358 107,02 Kč	-313 117,35 Kč	-271 304,66 Kč	-186 472,63 Kč
10	-338 672,58 Kč	-279 877,87 Kč	-230 435,08 Kč	-116 571,78 Kč
11	-320 163,60 Kč	-246 638,40 Kč	-188 160,36 Kč	-40 652,46 Kč
12	-302 535,99 Kč	-213 398,92 Kč	-144 432,20 Kč	41 803,52 Kč
13	-285 747,80 Kč	-180 159,44 Kč	-99 200,62 Kč	131 358,95 Kč
14	-269 759,04 Kč	-146 919,97 Kč	-52 413,93 Kč	228 625,11 Kč
15	-254 531,65 Kč	-113 680,49 Kč	-4 018,68 Kč	334 265,88 Kč
16	-240 029,38 Kč	-80 441,01 Kč	46 040,45 Kč	449 002,33 Kč
17	-226 217,69 Kč	-47 201,53 Kč	97 820,67 Kč	573 617,58 Kč
18	-213 063,70 Kč	-13 962,06 Kč	151 381,13 Kč	708 962,20 Kč
19	-200 536,09 Kč	19 277,42 Kč	206 783,05 Kč	855 960,00 Kč
20	-188 605,04 Kč	52 516,90 Kč	264 089,75 Kč	1 015 614,31 Kč
21	-177 242,13 Kč	85 756,37 Kč	323 366,70 Kč	1 189 014,85 Kč
22	-166 420,31 Kč	118 995,85 Kč	384 681,65 Kč	1 377 345,18 Kč
23	-156 113,81 Kč	152 235,33 Kč	448 104,67 Kč	1 581 890,75 Kč
24	-146 298,10 Kč	185 474,80 Kč	513 708,23 Kč	1 804 047,70 Kč
25	-136 949,81 Kč	218 714,28 Kč	581 567,31 Kč	2 045 332,35 Kč
26	-128 046,67 Kč	251 953,76 Kč	651 759,44 Kč	2 307 391,62 Kč
27	-119 567,49 Kč	285 193,23 Kč	724 364,85 Kč	2 592 014,19 Kč
28	-111 492,08 Kč	318 432,71 Kč	799 466,50 Kč	2 901 142,76 Kč
29	-103 801,22 Kč	351 672,19 Kč	877 150,21 Kč	3 236 887,30 Kč
30	-106 943,66 Kč	384 911,66 Kč	947 037,69 Kč	3 601 539,45 Kč
31	-99 967,82 Kč	418 151,14 Kč	1 030 154,91 Kč	3 997 588,15 Kč
32	-93 324,16 Kč	451 390,62 Kč	1 116 129,79 Kč	4 427 736,64 Kč
33	-86 996,86 Kč	484 630,09 Kč	1 205 060,55 Kč	4 894 920,92 Kč
34	-80 970,87 Kč	517 869,57 Kč	1 297 048,85 Kč	5 402 329,76 Kč
35	-75 231,83 Kč	551 109,05 Kč	1 392 199,79 Kč	5 953 426,50 Kč
36	-69 766,07 Kč	584 348,52 Kč	1 490 622,11 Kč	6 551 972,68 Kč
37	-64 560,59 Kč	617 588,00 Kč	1 592 428,28 Kč	7 202 053,67 Kč
38	-59 602,99 Kč	650 827,48 Kč	1 697 734,64 Kč	7 908 106,65 Kč
39	-54 881,47 Kč	684 066,95 Kč	1 806 661,54 Kč	8 674 950,78 Kč
40	-50 384,78 Kč	717 306,43 Kč	1 919 333,45 Kč	9 507 820,19 Kč
41	-46 102,22 Kč	750 545,91 Kč	2 035 879,13 Kč	10 412 399,66 Kč
42	-42 023,59 Kč	783 785,38 Kč	2 156 431,75 Kč	11 394 863,43 Kč
43	-38 139,18 Kč	817 024,86 Kč	2 281 129,10 Kč	12 461 917,32 Kč
44	-34 439,74 Kč	850 264,34 Kč	2 410 113,65 Kč	13 620 844,55 Kč
45	-30 916,46 Kč	883 503,82 Kč	2 543 532,82 Kč	14 879 555,42 Kč
46	-27 560,97 Kč	916 743,29 Kč	2 681 539,06 Kč	16 246 641,29 Kč
47	-24 365,25 Kč	949 982,77 Kč	2 824 290,09 Kč	17 731 433,26 Kč
48	-21 321,72 Kč	983 222,25 Kč	2 971 949,04 Kč	19 344 065,81 Kč
49	-18 423,11 Kč	1 016 461,72 Kč	3 124 684,64 Kč	21 095 546,03 Kč
50	-15 662,53 Kč	1 049 701,20 Kč	3 282 671,44 Kč	22 997 828,69 Kč

Tabulka č. 9 – Čistá současná hodnota NPV + kumulované peněžní toky CF

Zdroj: [autor]

Každá kladná hodnota NPV nám říká, že na investici neproděláme. V případě prvního sloupce, který neuvažuje vývoj cen energie, máme i po padesáti letech hodnotu zápornou. Z čistě investičního hlediska by bylo tedy výhodnější využít jiné investice, která by tuto hodnotu měla kladnou. Ovšem již při meziročním navyšování ceny energie o 2 % by tato hodnota byla ve dvacátém sedmém roku kladná. Při předpokládaném vývoji cen energie se nám investice začíná z pohledu NPV vyplácet již v šestnáctém roce.

Počet let	NPV	CF	NPV (vývoj cen e.)	CF (vývoj cen e.)
1	-404 727,47 Kč	-723 098,41 Kč	-404 727,47 Kč	-723 098,41 Kč
2	-370 887,30 Kč	-683 924,18 Kč	-367 973,66 Kč	-680 551,28 Kč
3	-338 658,56 Kč	-644 749,95 Kč	-329 956,22 Kč	-634 340,84 Kč
4	-307 964,53 Kč	-605 575,71 Kč	-290 631,70 Kč	-584 151,68 Kč
5	-278 732,11 Kč	-566 401,48 Kč	-249 955,16 Kč	-529 641,23 Kč
6	-250 891,72 Kč	-527 227,25 Kč	-207 880,13 Kč	-470 437,43 Kč
7	-224 377,06 Kč	-488 053,02 Kč	-164 358,52 Kč	-406 136,19 Kč
8	-199 125,00 Kč	-448 878,79 Kč	-119 340,59 Kč	-336 298,61 Kč
9	-175 075,42 Kč	-409 704,56 Kč	-72 774,91 Kč	-260 448,02 Kč
10	-152 171,06 Kč	-370 530,33 Kč	-24 608,25 Kč	-178 066,68 Kč
11	-130 357,38 Kč	-331 356,10 Kč	25 214,43 Kč	-88 592,32 Kč
12	-109 582,45 Kč	-292 181,86 Kč	76 750,05 Kč	8 585,79 Kč
13	-89 796,80 Kč	-253 007,63 Kč	130 057,52 Kč	114 130,93 Kč
14	-70 953,32 Kč	-213 833,40 Kč	185 197,75 Kč	228 763,51 Kč
15	-53 007,16 Kč	-174 659,17 Kč	242 233,75 Kč	353 265,95 Kč
16	-35 915,57 Kč	-135 484,94 Kč	301 230,71 Kč	488 488,06 Kč
17	-19 637,87 Kč	-96 310,71 Kč	362 256,04 Kč	635 352,78 Kč
18	-4 135,29 Kč	-57 136,48 Kč	425 379,47 Kč	794 862,56 Kč
19	10 629,06 Kč	-17 962,24 Kč	490 673,15 Kč	968 106,14 Kč
20	24 690,35 Kč	21 211,99 Kč	558 211,69 Kč	1 156 265,98 Kč
21	38 082,06 Kč	60 386,22 Kč	628 072,27 Kč	1 360 626,39 Kč
22	50 836,07 Kč	99 560,45 Kč	700 334,72 Kč	1 582 582,22 Kč
23	62 982,74 Kč	138 734,68 Kč	775 081,63 Kč	1 823 648,46 Kč
24	74 551,00 Kč	177 908,91 Kč	852 398,40 Kč	2 085 470,50 Kč
25	85 568,39 Kč	217 083,14 Kč	932 373,40 Kč	2 369 835,41 Kč
26	96 061,14 Kč	256 257,38 Kč	1 015 098,01 Kč	2 678 684,15 Kč
27	106 054,24 Kč	295 431,61 Kč	1 100 666,78 Kč	3 014 124,76 Kč
28	115 571,47 Kč	334 605,84 Kč	1 189 177,48 Kč	3 378 446,80 Kč
29	124 635,50 Kč	373 780,07 Kč	1 280 731,26 Kč	3 774 136,98 Kč
30	106 273,88 Kč	412 954,30 Kč	1 348 438,72 Kč	4 203 896,08 Kč
31	582 492,63 Kč	452 128,53 Kč	1 980 988,58 Kč	4 670 657,44 Kč
32	581 075,44 Kč	491 302,76 Kč	2 152 574,91 Kč	5 177 606,95 Kč
33	579 587,40 Kč	530 476,99 Kč	2 338 985,98 Kč	5 728 204,81 Kč
34	578 024,95 Kč	569 651,23 Kč	2 541 500,76 Kč	6 326 209,15 Kč
35	576 384,38 Kč	608 825,46 Kč	2 761 508,46 Kč	6 975 701,67 Kč
36	574 661,78 Kč	647 999,69 Kč	3 000 518,06 Kč	7 681 115,48 Kč
37	572 853,05 Kč	687 173,92 Kč	3 260 168,57 Kč	8 447 265,43 Kč
38	570 953,88 Kč	726 348,15 Kč	3 542 240,28 Kč	9 279 380,89 Kč
39	568 959,76 Kč	765 522,38 Kč	3 848 666,92 Kč	10 183 141,49 Kč
40	566 865,93 Kč	804 696,61 Kč	4 181 548,89 Kč	11 164 715,88 Kč
41	564 667,40 Kč	843 870,85 Kč	4 543 167,58 Kč	12 230 803,82 Kč
42	562 358,96 Kč	883 045,08 Kč	4 936 001,01 Kč	13 388 681,94 Kč
43	559 935,09 Kč	922 219,31 Kč	5 362 740,73 Kč	14 646 253,36 Kč
44	557 390,02 Kč	961 393,54 Kč	5 826 310,25 Kč	16 012 101,68 Kč
45	554 717,70 Kč	1 000 567,77 Kč	6 329 884,97 Kč	17 495 549,54 Kč
46	551 911,77 Kč	1 039 742,00 Kč	6 876 913,95 Kč	19 106 722,26 Kč
47	548 965,54 Kč	1 078 916,23 Kč	7 471 143,42 Kč	20 856 616,95 Kč
48	545 872,00 Kč	1 118 090,47 Kč	8 116 642,40 Kč	22 757 177,58 Kč
49	542 623,78 Kč	1 157 264,70 Kč	8 817 830,53 Kč	24 821 376,47 Kč
50	539 213,15 Kč	1 196 438,93 Kč	9 579 508,21 Kč	27 063 302,89 Kč

Tabulka č. 10 – Čistá současná hodnota NPV + kumulované peněžní toky CF; tepelné čerpadlo a NZU Zdroj: [autor]

Při využití tepelného čerpadla a dotace se investice z pohledu čisté současné hodnoty začíná vyplácet již ve 18. roce, respektive v roce 11. při zohlednění vývoje cen energií.

5.1.11 Vnitřní výnosové procento

Čím vyšší je IRR, tím vyšší je návratnost investice. Číselně je rovna diskontní sazbě, při které je čistá současná hodnota rovna nule.

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t}$$

Kde: IRR – vnitřní výnosové procento,

CF_t – peněžní toky v jednotlivých letech – počáteční investice a roční úspora,

n – doba životnosti projektu – počet let

Počet let	Bez NZU		Tepelné čerpadlo + NZU	
	IRR	IRR (vývoj cen e.)	IRR	IRR (vývoj cen e.)
1	-95%	-95%	-92%	-92%
2	-74%	-73%	-66%	-65%
3	-55%	-53%	-46%	-44%
4	-42%	-38%	-33%	-29%
5	-32%	-28%	-23%	-18%
6	-25%	-20%	-16%	-11%
7	-20%	-14%	-12%	-6%
8	-16%	-10%	-8%	-2%
9	-12%	-6%	-5%	2%
10	-10%	-3%	-3%	4%
11	-8%	-1%	-1%	6%
12	-6%	1%	0%	8%
13	-5%	2%	1%	9%
14	-3%	4%	2%	10%
15	-2%	5%	3%	11%
16	-2%	6%	4%	12%
17	-1%	7%	4%	12%
18	0%	7%	5%	13%
19	0%	8%	5%	13%
20	1%	9%	6%	14%
21	1%	9%	6%	14%
22	2%	10%	6%	14%
23	2%	10%	6%	15%
24	2%	10%	7%	15%
25	3%	11%	7%	15%
26	3%	11%	7%	15%
27	3%	11%	7%	15%
28	3%	11%	7%	16%
29	3%	12%	7%	16%
30	3%	12%	7%	16%
31	3%	12%	7%	16%
32	4%	12%	7%	16%
33	4%	12%	7%	16%
34	4%	12%	8%	16%
35	4%	12%	8%	16%
36	4%	13%	8%	16%
37	4%	13%	8%	16%
38	4%	13%	8%	16%
39	4%	13%	8%	17%
40	4%	13%	8%	17%
41	4%	13%	8%	17%
42	4%	13%	8%	17%
43	5%	13%	8%	17%
44	5%	13%	8%	17%
45	5%	13%	8%	17%
46	5%	13%	8%	17%
47	5%	13%	8%	17%
48	5%	13%	8%	17%
49	5%	13%	8%	17%
50	5%	13%	8%	17%

Tabulka č. 11 – Porovnání vnitřního výnosového procenta IRR pro jednotlivé varianty

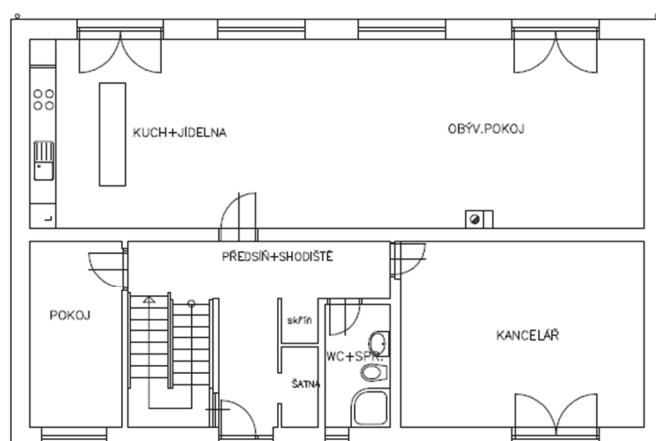
Zdroj: [autor]

5.2 RODINNÝ DŮM 2 – DVOJPODLAŽNÍ STAVBA SE SEDLOVOU STŘECHOU

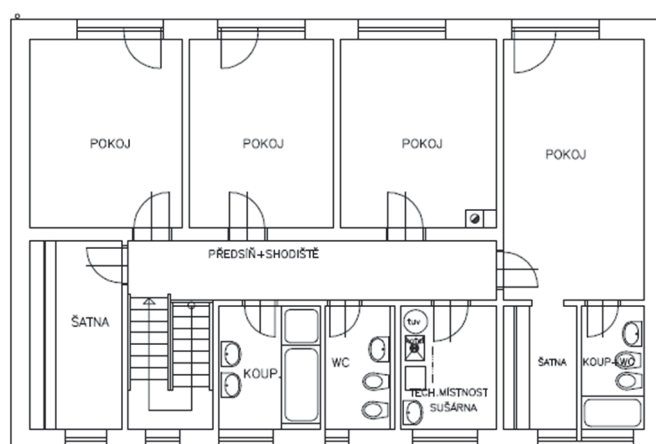
5.2.1 Stručný popis stavby

Jedná se o nepodsklepenou, dvoupodlažní, samostatně stojící stavbu. Druhé podlaží je vyzděno na celou výšku a až tato rovina je následně uzavřena sedlovou střechou s malým sklonem. Hlavní fasáda, kde jsou situovány větší prosklené plochy je orientována na jih. Na protilehlé fasádě je umístěn vstup do objektu a větší počet menších oken, většinou do technických nebo hygienických místností.

1.NP (=přízemí)



2.NP



Obrázek č. 22 – Půdorys 1.NP a 2.NP

Zdroj: [projektová dokumentace]

V přízemí dominuje obývací pokoj s kuchyňským koutem. V severní části domu je potom umístěna pracovna. Ze vstupní haly je poté možné vstoupit do menší komory pod schody, na toaletu, do šatny, nebo na přilehlé schodiště do dalšího podlaží. V tomto podlaží se nachází hlavní koupelna, čtyři ložnice a technická místnost. Dům má dispozičně dobré předpoklady pro možný pasivní standard.

Konstrukčně je dům řešen jako zděná stavba z keramických tvárnic bez dodatečného zateplení. Stavba je založena na základových pasech. Stropní konstrukce nad prvním i druhým podlažím je řešena jako dřevěná s nosnými trámy. Střecha je sedlová, mezi konstrukcí stropu a střechy vzniká prostor s vloženou izolací ve formě minerální vlny. Stavba je vytápěna teplovodním podlahovým systémem za pomoci elektrického kotle.

Nosná obvodová stěna, která tvoří nedílnou součást obálky budovy je zde tvořena keramickými tvárnicemi Porotherm 44 s bez dodatečného zateplení. Tato skladba dosahuje hodnoty prostupu tepla $U=0,26 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

Výplně otvorů jsou tvořeny převážně okny s dřevěnými rámy s izolačními dvojskly, součinitel prostupu tepla těchto konstrukcí je $U=1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Střešní konstrukce s minerální vlnou Isover UNI dosahuje hodnoty $U=0,21 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ a podlaha nad terénem, jejíž skladba je doplněna o 120 mm vytlačovaného polystyrenu hodnoty $U=0,26 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

5.2.2 Energetická náročnost standardního domu

Celková měrná potřeba tepla na vytápění budovy je u tohoto domu, ve standardním provedení, tedy bez úprav je na základě výpočtu stanovena na 13,802 MWh, z toho plynoucí spotřeba je 14,492 MWh.

5.2.3 Náklady na dům ve standardním provedení

Náklady na stavbu byl stanoveny pomocí individuální cenové kalkulace na základě položkového rozpočtu. Jednotlivé položky, včetně výkazu výměr, jsou určovány z projektové

dokumentace. Položkové rozpočty i projektové dokumentace jednotlivých staveb tvoří přílohu této práce. Základní projektová dokumentace staveb není prováděcí a některé údaje o konstrukcích neobsahuje, tyto byly adekvátně zvoleny pro účely této práce. V rozpočtu jsou zohledněny pouze položky, které bezprostředně souvisejí s výstavbou domu. Další okolnosti, jak jsou například okolní terénní úpravy, případně další objekty, nejsou v cenové kalkulaci zahrnuty. V praxi by na celkovou cenu rodinného domu měly tyto okolnosti podstatný vliv. Pro účel této práce je vhodnější stanovit pouze izolovanou cenu stavby. Následné vícenáklady, respektive jejich poměr k původní stavbě, bude brán pouze jako rozdíl nákladů na stavbu.

Náklady na stavbu druhého rodinného domu ve standardním provedení byly na základě položkového rozpočtu stanoveny na 5 895 285,- Kč.

5.2.4 Změny nutné k dosažení parametrů pasivní stavby

V tomto kroku je klíčové dále definovat nutné změny, které bude potřeba provést. Díky těmto změnám bude možné dosáhnout jednak parametrů pasivní stavby, ale především úspory celkové měrné potřeby tepla na vytápění budovy. Obecně bude nezbytné zlepšit tepelné technické vlastnosti obálky budovy, minimalizovat tepelné mosty a snížit průvzdušnost budovy, stejně jako u první stavby. U druhého domu bude pravděpodobně menší potřeba změn v prosklených plochách, protože již standardní varianta má největší procento plochy na jižní straně. S těmito změnami bude souviset nutnost instalace nuceného větrání s rekuperací a také potřeba stínění skleněných ploch v letních měsících.

Konkrétní výčet změn:

- Změna obvodového zdiva na vícevrstvou konstrukci při zachování stejné tloušťky. Menší tvarovky Porothersm 25 budou doplněny vrstvou tepelné izolace Isover Greywall. Díky této úpravě je možné u obvodové zdiva dosáhnout zlepšení součinitele prostupu tepla z původní hodnoty $U=0,26 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ na hodnotu $U=0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.
- Doplnění izolace do konstrukce střešního pláště. Zde je velmi zásadní provést doplnění izolační vrstvy z původních 16 cm na 32 cm. Dále bude místo původní minerální vlny Isover UNI použit Isover Multimax, který má lepší tepelné technické vlastnosti. Na základě této změny je možné dosáhnout zlepšení součinitele prostupu tepla z původní hodnoty $U=0,21 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ na hodnotu $U=0,11 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

- Úprava skladby konstrukce podlahy, která je přilehlá k terénu v nejnižším podlaží. Původních 12 cm vytlačovaného polystyrenu je zde nahrazeno novou vrstvou 15 cm EPS Grey. Tato úprava vede na zlepšení součinitele prostupu tepla z původní hodnoty $U=0,26 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ na hodnotu $U=0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.
- Výměna výplní otvorů z původních oken s izolačními dvojskly, na okna s izolačními trojskly. Na základě této změny je možné dosáhnout zlepšení součinitele prostupu tepla z původní hodnoty $U=1,20 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ na hodnotu $U=0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Dále budou vyměněny i vchodové dveře, které mají jednak lepší tepelně technické vlastnosti, ale také speciální mechanismus přispívající k lepší vzduchotěsnosti.
- Druhý objekt je koncepčně a dispozičně mnohem blíže zásadám pasivní stavby. Z tohoto důvodu nejsou nutné tak výrazné úpravy k navýšení solárních zisků, velikost všech prosklených ploch, oproti prvnímu domu, zůstane zachována. Jedinou změnou je přemístění velkého okna v pracovně ze severní fasády, na stranu západní. To vede ke zlepšení solárních zisků a snížení tepelné ztráty.
- Další parametr, který vyžaduje patřičné zlepšení je vzduchotěsnost obálky budovy. Původní hodnota 3 h^{-1} bez zpětného získávání tepla by měla nepříznivý vliv na teplené ztráty. Cílová hodnota, které chceme u pasivní stavby dosáhnout by měla být menší než $0,6 \text{ h}^{-1}$. Je tedy zásadní provést dodatečné utěsnění, pomocí těsnících pásky u výplní otvorů a také pomocí parotěsné fólie ve skladbě střešní konstrukce. Všechny prostupy touto vzduchotěsnou obálkou je dále žádoucí realizovat se zvýšenou pozorností za pomocí těsnících prvků. Výslednou hodnotu je nutné následně ověřit zkouškou, jejíž náklady jsou také zohledněny.
- S předchozím bodem úzce souvisí i nezbytnost instalace nuceného větrání se zpětným získáváním tepla. Účinnost zpětného získávání tepla je uvažována minimálně jako 80 %, což je běžně dosažitelný parametr.
- Nutnost instalace stínění, především pro okna na jižní a západní fasádě. Na tyto vybrané prosklené plochy budou instalovány předokenní žaluzie, které budou v letních měsících zabránovat přehřívání interiéru. S tímto požadavkem souvisí potřeba instalace boxů pro žaluzie ve fasádě a také speciálních izolačních konzol, které tyto boxy budou držet.
- Zvýšená pozornost při řešení tepelných mostů a tím zmenšení vlivu teplených vazeb z původních 5 % na 2 %. To si vyžádá především kotvení předokenních žaluzií a kotvení všech prostupů pomocí speciálních izolačních prvků, například výrobky Compacfoam.

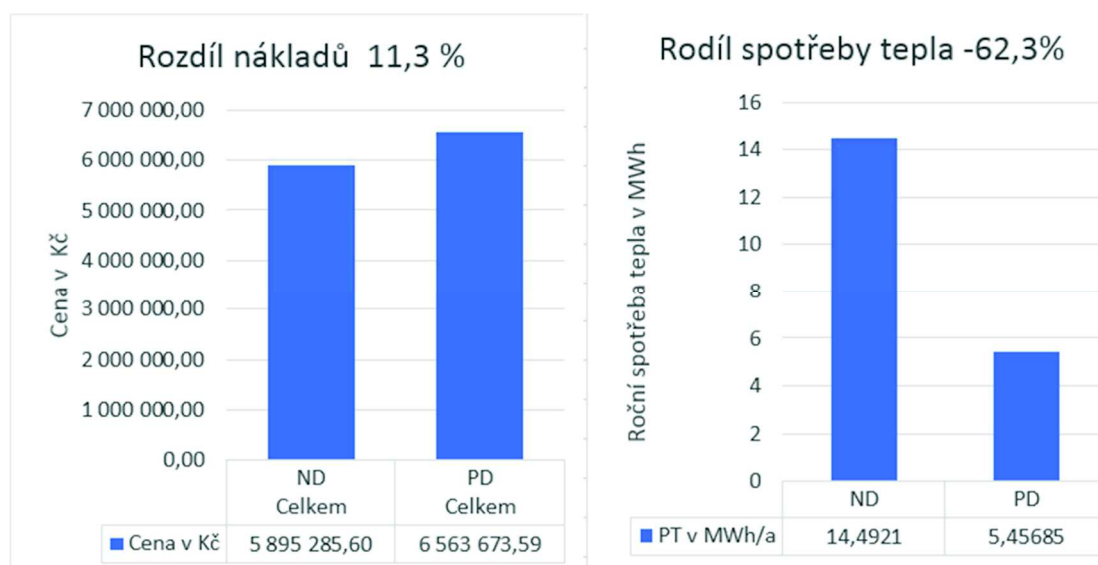
5.2.5 Náklady na dům v pasivním provedení – po úpravách

Na základě výše uvedených změn byl vypracovaný nový položkový rozpočet, kde jsou všechny tyto změny zapracovány.

Náklady na stavbu druhého rodinného domu po úpravách na dům pasivní byly na základě položkového rozpočtu stanoveny na 6 653 673,- Kč. Celkový rozdíl je 581 207,- Kč, tedy 11,3 %.

5.2.6 Energetická náročnost na dům v pasivním provedení

Po úpravách bylo také nevyhnutelné znovu provést výpočet energetické náročnosti budovy. Bylo nutné zahrnout změny tepelně technických vlastností obálky budovy, její vzduchotěsnost, tepelné vazby, ale i účinnost zpětného získávání tepla a orientaci nových otvorů. Celková měrná potřeba tepla na vytápění budovy po úpravách je na základě výpočtu stanovena na 5,197 MWh, což znamená spotřebu 5,456 KWh a snížení nákladů na vytápění o 62,3 %. To odpovídá 20 kWh/(m².a) a požadavků na pasivní dům.



Graf č. 11 – Porovnání nákladů a spotřeby v ND a PD - D2;

Zdroj: [autor]

5.2.7 Cena elektrické energie

Ceně elektrické energie jsme se věnovali podrobněji již u předchozí stavby. Obecně je tato hodnota závislá na mnoha faktorech a není snadné ji přesně určit. Hodnoty budou uvažovány stejné jako v přechozím případě, pro lepší porovnání jednotlivých variant, nicméně je třeba připomenout, že spotřeba energie ve druhém domě je v ročně v průměru větší. Tento fakt by vedl pravděpodobněji na levnější sazbu za 1 KWh. Důsledkem toho by byla menší roční úspora, oproti dražší sazbě a tím také prodloužení návratnosti. Cena elektrické energie je při výpočtu návratnosti velmi důležitým parametrem, který se navíc nedá jednoznačně určit vzhledem k vývoji do budoucnosti.

5.2.8 Prostá návratnost

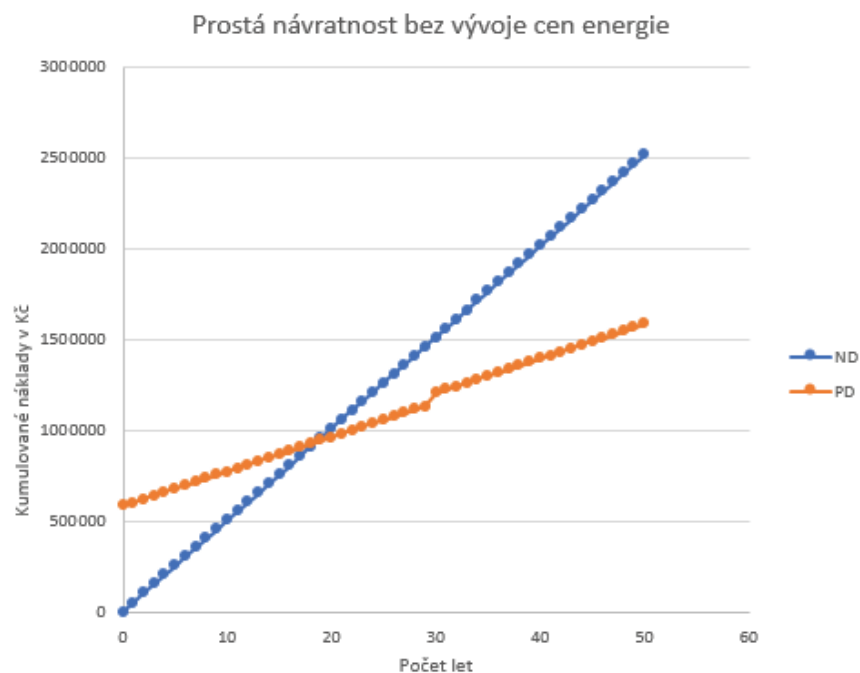
Problematika tohoto pojmu byla již řešena u předchozí stavby. Vícenáklady na splnění pasivního standardu (581 206,- Kč) jsou počáteční investice. Roční úspora se vypočte jako průměrná uspořená energie za rok ($14,492 - 5,456 = 9,035$ MWh). Z ceny energie lze tedy vypočítat roční úsporu nákladů:

$$9035 \times 3,647 = \underline{32\,956,06 \text{ Kč}}$$

Z toho návratnost investice:

$$581\,206 / 32\,956,06 = \underline{17,63 \text{ let}}$$

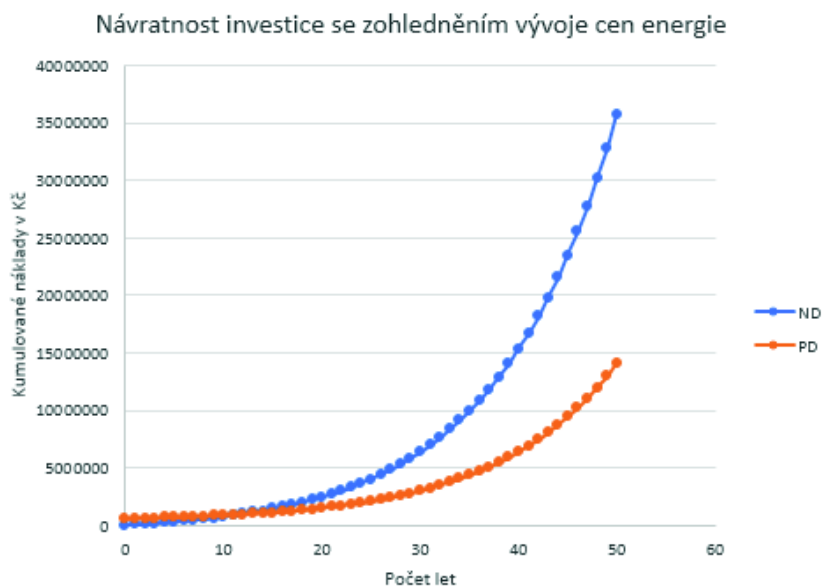
To vše je velmi přehledně znázorněno na následujícím grafu. Modrá spojnice vyjadřuje součet nákladů v jednotlivých letech na vytápění pro standardní dům. Oranžově jsou znázorněny součty nákladů pro dům pasivní. Je vidět že před osmnáctým rokem se obě úsečky protínají a počáteční investice je tedy navracena.



Graf č. 12 – Prostá návratnost bez vývoje cen energie – D2

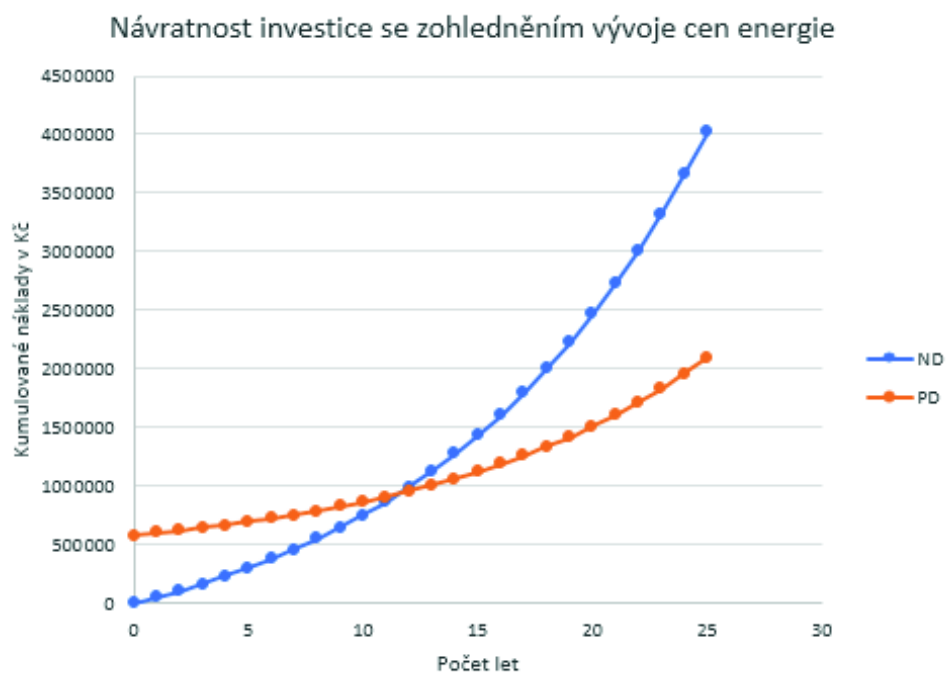
Zdroj: [autor]

Pokud zohledníme i vývoj cen energie, tedy průměrné meziroční zdražení o 8,61% návratnost investice se zkrátí na 11,24 let. To je možné vidět na následujících dvou grafech.



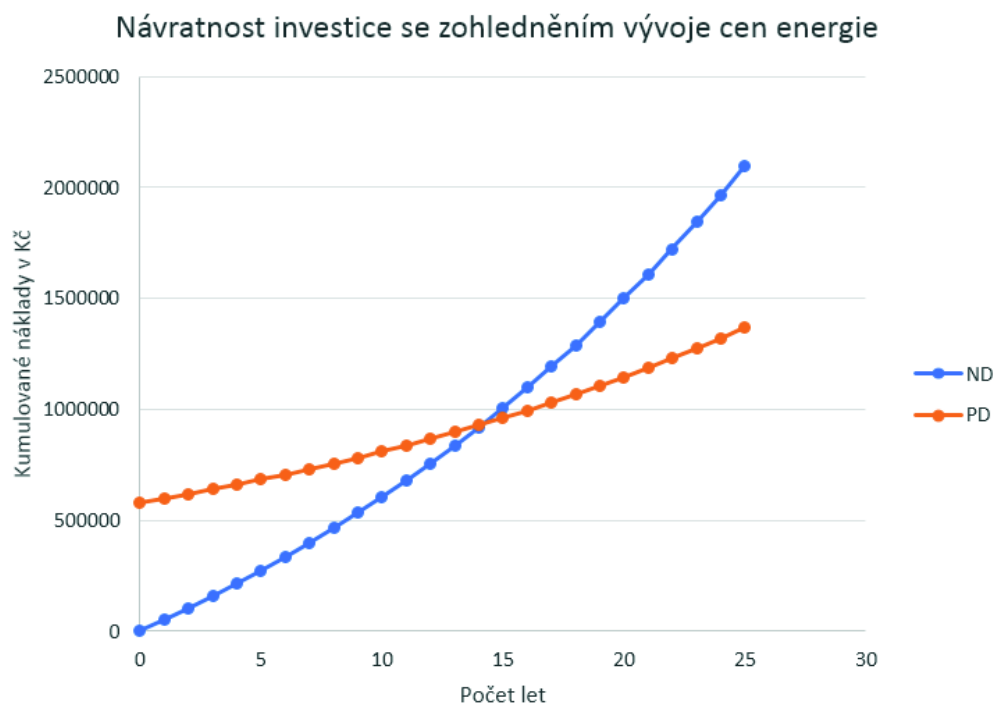
Graf č. 13 – Návratnost investice se zohledněním vývoje cen energie (8,61 %) – D2

Zdroj: [autor]



Graf č. 14 – Návratnost investice se zohledněním vývoje cen energie (8,61 %; 25 let) – D2

Zdroj: [autor]



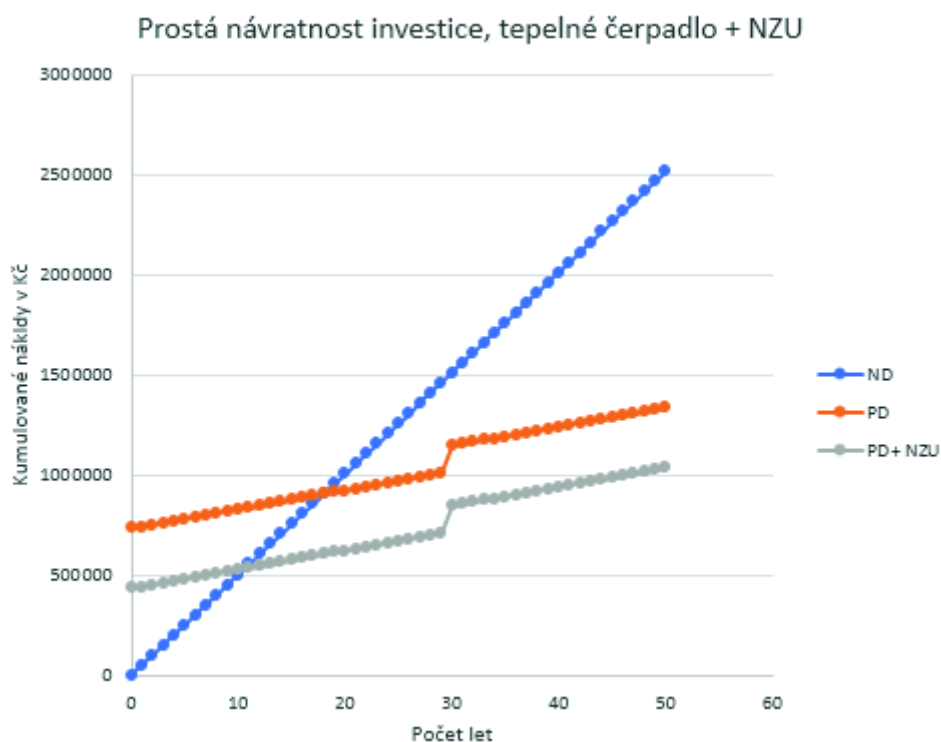
Graf č. 15 – Návratnost investice se zohledněním vývoje cen energie (4 %; 25 let) – D2

Zdroj: [autor]

Při konzervativním přístupu a hodnotě meziročního zdražení 4,0 % je návratnost 13,61 let.

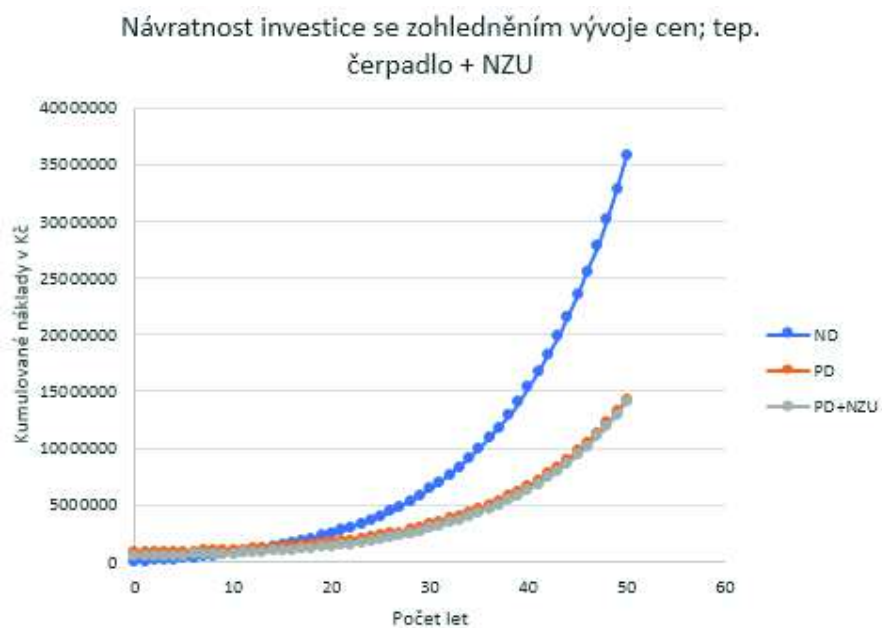
S instalací tepelného čerpadla by naše stavba měla splnit i podmínku primární neobnovitelné energie. Díky tomu by pak navíc mohla dosáhnout na dotaci z programu Nová zelené úsporám – konkrétně na podoblast podpory B1. Tato podpora by byla konkrétně 300 000,- Kč

Tepelné čerpadlo navíc ušetří část energie na vytápění, při konzervativním přístupu můžeme hodnotu topného faktoru stanovit jako 2. Tedy že ušetří polovinu tepla na vytápění. Moderní čerpadla jsou schopna dosahovat i lepších hodnot. Investice do takového čerpadla bude brána jako 150 000,- Kč. O tuto hodnotu nám vzroste počáteční investice, bude to tedy 731 206,- Kč.



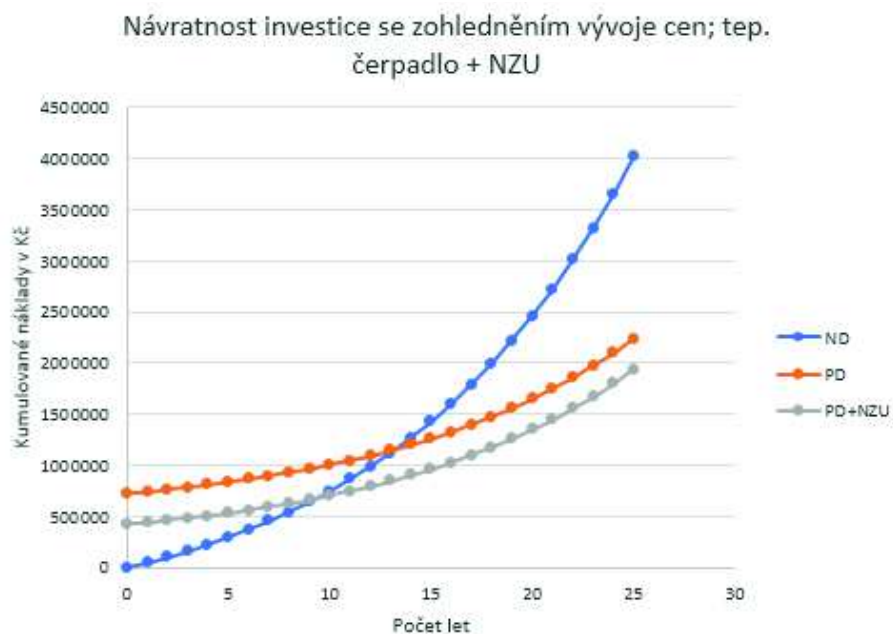
Graf č. 16 – Prostá návratnost investice, tepelné čerpadlo + NZU – D2

Zdroj: [autor]



Graf č. 17 – Návratnost investice se zohledněním vývoje cen, tepelné čerpadlo + NZU – D2

Zdroj: [autor]



Graf č. 18 – Návratnost investice se zohledněním vývoje cen, tepelné čerpadlo + NZU; 25 l. – D2

Zdroj: [autor]

Díky instalaci tepelného čerpadla je možné dosáhnout na podporu až 300 000,- Kč. Spotřeba energie na vytápění bude navíc pouze 2,60 MWh za rok. Na základě této skutečnosti se i tak doba návratnosti ve variantě bez vývoje ceny energie nezkrátí. To je způsobeno tím, že další úspora energie je sice poloviční, ale již z relativně malého čísla. To znamená, že další roční úspora není vůči velikosti počáteční investice tak velká. Doba návratnosti je v tomto případě 19,24 let. Pokud zahrneme předpokládaný vývoj ceny energie, doba návratnosti se výrazně zkrátí a to na 11,82 let. Vše se zásadně změní, pokud do výpočtu zahrneme ještě dotaci. V takovém případě bude návratnost 11,34, respektive 9,6 let s vývojem ceny energie.

Návratnost investice v podobě vícenákladů do pasivního domu se na základě výše zmíněného pohybuje od 9,6 do 19,2 let, v závislosti na zvolené variantě a vývoji cen elektrické energie. Všechny tyto doby návratností jsou menší než předpokládaná životnost technických zařízení, která se předpokládá na minimálně 30 let. Ovšem i s další předpokládanou investicí ve výši poloviny původních nákladů (tedy 127 500,- Kč) na technická zařízení se investice vyplatí a v horizontu 50 let přináší významné roční příjmy.

5.2.9 Čistá současná hodnota

Význam čisté současné hodnoty byl rozebrán v předchozím textu a proto jej netřeba opakovat.

Počet let	NPV	CF	NPV (vývoj cen e.)	CF (vývoj cen e.)
1	-523 638,31 Kč	-548 250,88 Kč	-523 638,31 Kč	-548 250,88 Kč
2	-495 169,62 Kč	-515 294,82 Kč	-492 718,46 Kč	-512 457,30 Kč
3	-468 056,58 Kč	-482 338,75 Kč	-460 735,57 Kč	-473 581,89 Kč
4	-442 234,64 Kč	-449 382,69 Kč	-427 653,07 Kč	-431 359,31 Kč
5	-417 642,31 Kč	-416 426,62 Kč	-393 433,16 Kč	-385 501,36 Kč
6	-394 221,05 Kč	-383 470,55 Kč	-358 036,74 Kč	-335 695,04 Kč
7	-371 915,09 Kč	-350 514,49 Kč	-321 423,36 Kč	-281 600,40 Kč
8	-350 671,32 Kč	-317 558,42 Kč	-283 551,17 Kč	-222 848,21 Kč
9	-330 439,15 Kč	-284 602,36 Kč	-244 376,90 Kč	-159 037,45 Kč
10	-311 170,42 Kč	-251 646,29 Kč	-203 855,79 Kč	-89 732,59 Kč
11	-292 819,25 Kč	-218 690,22 Kč	-161 941,52 Kč	-14 460,59 Kč
12	-275 341,95 Kč	-185 734,16 Kč	-118 586,19 Kč	67 292,34 Kč
13	-258 696,89 Kč	-152 778,09 Kč	-73 740,27 Kč	156 084,20 Kč
14	-242 844,46 Kč	-119 822,02 Kč	-27 352,51 Kč	252 521,03 Kč
15	-227 746,91 Kč	-86 865,96 Kč	20 630,11 Kč	357 261,08 Kč
16	-213 368,29 Kč	-53 909,89 Kč	70 262,42 Kč	471 019,24 Kč
17	-199 674,36 Kč	-20 953,83 Kč	121 601,14 Kč	594 571,98 Kč
18	-186 632,53 Kč	12 002,24 Kč	174 704,93 Kč	728 762,61 Kč
19	-174 211,73 Kč	44 958,31 Kč	229 634,48 Kč	874 507,06 Kč
20	-162 382,40 Kč	77 914,37 Kč	286 452,56 Kč	1 032 800,10 Kč
21	-151 116,38 Kč	110 870,44 Kč	345 224,10 Kč	1 204 722,17 Kč
22	-140 386,83 Kč	143 826,50 Kč	406 016,26 Kč	1 391 446,74 Kč
23	-130 168,21 Kč	176 782,57 Kč	468 898,51 Kč	1 594 248,28 Kč
24	-120 436,19 Kč	209 738,64 Kč	533 942,71 Kč	1 814 511,05 Kč
25	-111 167,60 Kč	242 694,70 Kč	601 223,20 Kč	2 053 738,43 Kč
26	-102 340,37 Kč	275 650,77 Kč	670 816,85 Kč	2 313 563,29 Kč
27	-93 933,49 Kč	308 606,83 Kč	742 803,20 Kč	2 595 759,08 Kč
28	-85 926,94 Kč	341 562,90 Kč	817 264,51 Kč	2 902 251,92 Kč
29	-78 301,65 Kč	374 518,97 Kč	894 285,87 Kč	3 235 133,80 Kč
30	-82 608,34 Kč	407 475,03 Kč	962 386,42 Kč	3 596 676,80 Kč
31	-75 691,97 Kč	440 431,10 Kč	1 044 794,96 Kč	3 989 348,66 Kč
32	-69 104,96 Kč	473 387,17 Kč	1 130 036,78 Kč	4 415 829,56 Kč
33	-62 831,62 Kč	506 343,23 Kč	1 218 209,30 Kč	4 879 030,47 Kč
34	-56 857,00 Kč	539 299,30 Kč	1 309 413,27 Kč	5 382 112,98 Kč
35	-51 166,89 Kč	572 255,36 Kč	1 403 752,92 Kč	5 928 510,89 Kč
36	-45 747,74 Kč	605 211,43 Kč	1 501 336,06 Kč	6 521 953,66 Kč
37	-40 586,64 Kč	638 167,50 Kč	1 602 274,20 Kč	7 166 491,86 Kč
38	-35 671,31 Kč	671 123,56 Kč	1 706 682,68 Kč	7 866 524,79 Kč
39	-30 990,05 Kč	704 079,63 Kč	1 814 680,84 Kč	8 626 830,56 Kč
40	-26 531,70 Kč	737 035,69 Kč	1 926 392,07 Kč	9 452 598,65 Kč
41	-22 285,65 Kč	769 991,76 Kč	2 041 944,04 Kč	10 349 465,38 Kč
42	-18 241,80 Kč	802 947,83 Kč	2 161 468,79 Kč	11 323 552,34 Kč
43	-14 390,51 Kč	835 903,89 Kč	2 285 102,92 Kč	12 381 508,18 Kč
44	-10 722,61 Kč	868 859,96 Kč	2 412 987,71 Kč	13 530 554,02 Kč
45	-7 229,38 Kč	901 816,02 Kč	2 545 269,31 Kč	14 778 532,70 Kč
46	-3 902,49 Kč	934 772,09 Kč	2 682 098,86 Kč	16 133 962,35 Kč
47	-734,02 Kč	967 728,16 Kč	2 823 632,75 Kč	17 606 094,49 Kč
48	2 283,56 Kč	1 000 684,22 Kč	2 970 032,71 Kč	19 204 977,21 Kč
49	5 157,46 Kč	1 033 640,29 Kč	3 121 466,04 Kč	20 941 523,74 Kč
50	7 894,50 Kč	1 066 596,36 Kč	3 278 105,79 Kč	22 827 586,92 Kč

Tabulka č. 12 – Čistá současná hodnota NPV + kumulované peněžní toky CF-D2

Zdroj: [autor]

Každá kladná hodnota NPV nám říká, že na investici neproděláme. V případě prvního sloupce, který neuvažuje vývoj cen energie, máme i po sedmačtyřiceti letech hodnotu zápornou. Z čistě investičního hlediska by bylo tedy výhodnější využít jiné investice, která by tuto hodnotu

měla kladnou. Ovšem již při meziročním navyšování ceny o 1,5 % by tato hodnota byla ve třicátém roku kladná. Při předpokládaném vývoji cen energie se nám investice začíná vyplácet již v patnáctém roce.

Počet let	NPV	CF	NPV (vývoj cen a.)	CF (vývoj cen a.)
1	-376 201,52 Kč	-693 201,83 Kč	-376 201,52 Kč	-693 201,83 Kč
2	-343 371,28 Kč	-655 196,72 Kč	-340 544,59 Kč	-651 924,48 Kč
3	-312 104,37 Kč	-617 191,60 Kč	-303 661,74 Kč	-607 093,14 Kč
4	-282 326,37 Kč	-579 186,48 Kč	-265 510,82 Kč	-558 401,82 Kč
5	-253 966,37 Kč	-541 181,37 Kč	-226 048,23 Kč	-505 518,18 Kč
6	-226 956,84 Kč	-503 176,25 Kč	-185 228,89 Kč	-448 081,26 Kč
7	-201 233,48 Kč	-465 171,13 Kč	-143 006,13 Kč	-385 699,03 Kč
8	-176 735,04 Kč	-427 166,02 Kč	-99 331,72 Kč	-317 945,68 Kč
9	-153 403,20 Kč	-389 160,90 Kč	-54 155,74 Kč	-244 358,77 Kč
10	-131 182,39 Kč	-351 155,78 Kč	-7 426,57 Kč	-164 436,02 Kč
11	-110 019,72 Kč	-313 150,67 Kč	40 909,20 Kč	-77 631,93 Kč
12	-89 864,80 Kč	-275 145,55 Kč	90 906,80 Kč	16 646,00 Kč
13	-70 669,63 Kč	-237 140,43 Kč	142 623,36 Kč	119 041,26 Kč
14	-52 388,52 Kč	-199 135,32 Kč	196 117,99 Kč	230 252,74 Kč
15	-34 977,94 Kč	-161 130,20 Kč	251 451,81 Kč	351 039,54 Kč
16	-18 396,43 Kč	-123 125,08 Kč	308 688,06 Kč	482 226,08 Kč
17	-2 604,52 Kč	-85 119,97 Kč	367 892,15 Kč	624 707,78 Kč
18	12 435,39 Kč	-47 114,85 Kč	429 131,74 Kč	779 457,15 Kč
19	26 759,12 Kč	-9 109,73 Kč	492 476,79 Kč	947 530,45 Kč
20	40 400,77 Kč	28 895,38 Kč	557 999,71 Kč	1 130 074,86 Kč
21	53 392,81 Kč	66 900,50 Kč	625 775,38 Kč	1 328 336,34 Kč
22	65 766,19 Kč	104 905,62 Kč	695 881,23 Kč	1 543 668,13 Kč
23	77 550,36 Kč	142 910,73 Kč	768 397,39 Kč	1 777 539,99 Kč
24	88 773,37 Kč	180 915,85 Kč	843 406,72 Kč	2 031 548,22 Kč
25	99 461,96 Kč	218 920,97 Kč	920 994,95 Kč	2 307 426,56 Kč
26	109 641,57 Kč	256 926,08 Kč	1 001 250,73 Kč	2 607 058,02 Kč
27	119 336,43 Kč	294 931,20 Kč	1 084 265,79 Kč	2 932 487,75 Kč
28	128 569,63 Kč	332 936,32 Kč	1 170 134,98 Kč	3 285 936,98 Kč
29	137 363,16 Kč	370 941,43 Kč	1 258 956,43 Kč	3 669 818,19 Kč
30	117 642,11 Kč	408 946,55 Kč	1 322 735,82 Kč	4 086 751,57 Kč
31	563 105,96 Kč	446 951,67 Kč	1 919 865,24 Kč	4 539 582,92 Kč
32	561 630,93 Kč	484 956,78 Kč	2 086 230,61 Kč	5 031 403,04 Kč
33	560 082,14 Kč	522 961,90 Kč	2 266 973,28 Kč	5 565 568,88 Kč
34	558 455,92 Kč	560 967,02 Kč	2 463 333,81 Kč	6 145 726,39 Kč
35	556 748,39 Kč	598 972,13 Kč	2 676 659,69 Kč	6 775 835,47 Kč
36	554 955,48 Kč	636 977,25 Kč	2 908 414,58 Kč	7 460 196,94 Kč
37	553 072,92 Kč	674 982,37 Kč	3 160 188,28 Kč	8 203 481,93 Kč
38	551 096,24 Kč	712 987,49 Kč	3 433 707,65 Kč	9 010 763,76 Kč
39	549 020,72 Kč	750 992,60 Kč	3 730 848,40 Kč	9 887 552,56 Kč
40	546 841,43 Kč	788 997,72 Kč	4 053 647,90 Kč	10 839 832,87 Kč
41	544 553,17 Kč	827 002,84 Kč	4 404 319,11 Kč	11 874 104,51 Kč
42	542 150,50 Kč	865 007,95 Kč	4 785 265,71 Kč	12 997 426,94 Kč
43	539 627,70 Kč	903 013,07 Kč	5 199 098,55 Kč	14 217 467,44 Kč
44	536 978,76 Kč	941 018,19 Kč	5 648 653,47 Kč	15 542 553,42 Kč
45	534 197,36 Kč	979 023,30 Kč	6 137 010,70 Kč	16 981 729,30 Kč
46	531 276,90 Kč	1 017 028,42 Kč	6 667 515,90 Kč	18 544 818,23 Kč
47	528 210,42 Kč	1 055 033,54 Kč	7 243 803,02 Kč	20 242 489,12 Kč
48	524 990,61 Kč	1 093 038,65 Kč	7 869 819,16 Kč	22 086 329,47 Kč
49	521 609,81 Kč	1 131 043,77 Kč	8 549 851,52 Kč	24 088 924,47 Kč
50	518 059,97 Kč	1 169 048,89 Kč	9 288 556,72 Kč	26 263 942,90 Kč

Tabulka č. 13 – Čistá současná hodnota NPV + kumulované peněžní toky CF; tepelné čerpadlo a NZU-D2

Zdroj: [autor]

Při využití tepelného čerpadla a dotace se investice z pohledu čisté současné hodnoty začíná vyplácet již ve 18. roce, respektive ve roce 11. při zohlednění vývoje cen energií.

5.2.10 Vnitřní výnosové procento

Vnitřní výnosové procento bylo rovněž popsáno u předchozí stavby. Jen pro připomenutí z předchozího textu - čím vyšší je IRR, tím vyšší je návratnost investice.

Počet let	Bez NZU		Tepelné čerpadlo + NZU	
	IRR	IRR (vývoj cen e.)	IRR	IRR (vývoj cen e.)
1	-94%	-94%	-91%	-91%
2	-73%	-72%	-66%	-64%
3	-54%	-52%	-45%	-43%
4	-41%	-38%	-32%	-28%
5	-31%	-27%	-22%	-18%
6	-24%	-19%	-16%	-10%
7	-19%	-13%	-11%	-5%
8	-15%	-9%	-7%	-1%
9	-12%	-5%	-4%	2%
10	-9%	-3%	-2%	5%
11	-7%	0%	-1%	7%
12	-5%	1%	1%	8%
13	-4%	3%	2%	9%
14	-3%	4%	3%	11%
15	-2%	5%	4%	11%
16	-1%	6%	4%	12%
17	0%	7%	5%	13%
18	0%	8%	5%	13%
19	1%	9%	6%	14%
20	1%	9%	6%	14%
21	2%	10%	6%	15%
22	2%	10%	7%	15%
23	2%	10%	7%	15%
24	3%	11%	7%	15%
25	3%	11%	7%	16%
26	3%	11%	7%	16%
27	3%	11%	8%	16%
28	4%	12%	8%	16%
29	4%	12%	8%	16%
30	4%	12%	8%	16%
31	4%	12%	8%	16%
32	4%	12%	8%	16%
33	4%	12%	8%	17%
34	4%	13%	8%	17%
35	4%	13%	8%	17%
36	4%	13%	8%	17%
37	4%	13%	8%	17%
38	4%	13%	8%	17%
39	5%	13%	8%	17%
40	5%	13%	8%	17%
41	5%	13%	8%	17%
42	5%	13%	8%	17%
43	5%	13%	8%	17%
44	5%	13%	8%	17%
45	5%	13%	8%	17%
46	5%	14%	8%	17%
47	5%	14%	8%	17%
48	5%	14%	8%	17%
49	5%	14%	8%	17%
50	5%	14%	8%	17%

Tabulka č. 14 – Porovnání vnitřního výnosového procenta IRR pro jednotlivé varianty-D2

Zdroj: [autor]

5.3 POROVNÁNÍ STAVEB

Při výběru obou hodnocených staveb byla snaha o nějakou odlišnost staveb. Stavby bylo nutné vybírat s rozvahou, aby bylo vůbec možné následnými úpravami pasivního standardu, respektive jeho požadavků dosáhnout. Základními parametry při výběru staveb bylo tedy, aby se jednalo o samostatně stojící stavbu s obytným prostorem, přesněji více prosklenou fasádou na jižní stranu. Dalším požadavkem byla jistá kompaktnost domu, tedy dvojpodlažní stavba s kompaktním tvarem bez zbytečných výčnělků. První dům byl k dosažení pasivních parametrů obecně méně vhodný, obytné podkroví je složitější na náročné detaily pasivních staveb a střešní okna také nejsou úplně vhodnou volbou z důvodů nadměrného přehřívání. To ostatně potvrzuje i veliké množství potřebných úprav pro pasivní parametry. Druhý dům byl svojí dispozicí a členěním otvorů ve fasádě mnohem vhodnější, což dokazují i nezbytné úpravy.

Konstrukční materiály byly zcela záměrně voleny co nejvíce totožné. Důvodem je, aby byla v rozdílech patrná obecnější kritéria, jedním z nich je například konstrukční řešení střechy. Různé systémy, nebo různí výrobci by do tohoto problému vnášely ještě další kritérium. Toto kritérium by navíc v rovině našeho zkoumaného problému a otázky ekonomické návratnosti nebylo relevantní. Nicméně z obecného pohledu mohou mít konstrukční systémy samozřejmě na výslednou cenu pasivních staveb nezanedbatelný vliv, tato problematika by ovšem zasloužila podrobnější zkoumání. To jen potvrzuje vhodnost volby podobných konstrukčních materiálů.

Při porovnání izolovaných vícenákladů je vidět především, jaký význam má to, z jakého stavu vycházíme a tím tedy celková koncepce stavby. V následující tabulce jsou vidět vícenáklady na jednotlivé domy, v posledním sloupci je jejich následný rozdíl, znaménko nehraje roli, poukazuje pouze na to, který dům bereme jako výchozí. V absolutní hodnotě se tedy jedná o čistý rozdíl mezi domy. Příslušná barva poté označuje, který dům vychází hůře – náklady jsou větší. První dům je označen modrou barvou, druhý dům pak barvou žlutou. Svislé konstrukce z pohledu vícenákladů vycházejí hůře pro dům první, důvod je prostý je zde celkově menší objem zdiva, tudíž se na něm „méně ušetří“ při jeho redukci. Naopak je zde při této redukci i menší železobetonová deska, u dřevěných stropů ve druhém domě toto nemá takový vliv, protože uložení trámů a tedy jejich délka jsou pořád totožné. Do úpravy vnějších povrchů je zahrnuto hlavně zateplení fasády, to logicky vychází hůře u domu druhého, protože je zde větší plocha. To se promítá do oddílu tepelných izolací, které vycházejí dražší pro dům první právě kvůli jejich většímu objemu ve střešní konstrukci. Nicméně tento poměr je vzájemně odlišný, ve prospěch podkroví, které má ze své podstaty kompaktnější tvar. Avšak musí být doplněno při úpravách další konstrukci z OSB desek, což vzájemné rozdíly téměř vyrovnává. Za dva nejzajímavější oddíly lze označit konstrukce

truhlářské a čalounické úpravy, ve kterých je zahrnuto stínění. V obou těchto oddílech vychází hůře dům první. U truhlářských konstrukcí si totiž vyžádal radikální změny ve výplních otvorů, bylo nutné prosklené plochy nejen zlepšovat, ale především také zvětšovat. U stínění se jedná o podobnou problematiku, u domu druhého bylo potřeba zastínit pouze velké prosklené plochy na jižní straně. Dům první měl od počátku méně vhodné členění těchto otvorů. Bylo tedy nutné přidat velké prosklené plochy i na východní a západní fasádě, navíc na fasádě jižní jsou poměrně nevhodně umístěny okna do komory a koupelny. Více menších oken má nejen větší tepelnou ztrátu, ale navíc také navyšují faktický počet stínících prvků. Právě počet stínících prvků navyšuje tento rozdíl, i když stíní menší plochu. Tím je jednoznačně potvrzena skutečnost, že u pasivních staveb je zcela stěžejní celková koncepce domu a jeho návrh.

Číslo	Název	Vícenáklady - Dům 1	Vícenáklady - Dům 2	Rozdíl v Kč
1	Zemní práce	0,00	0,00	0,00
2	Základy a zvláštní zakládání	0,00	0,00	0,00
3	Svislé a kompletní konstrukce	-49 026,48	-64 759,00	-15 732,52
4	Vodorovné konstrukce	-11 258,22	0,00	11 258,22
61	Úpravy povrchů vnitřní	0,00	0,00	0,00
62	Úpravy povrchů vnější	164 331,43	215 048,20	50 716,77
63	Podlahy a podlahové konstrukce	0,00	0,00	0,00
64	Výplně otvorů	0,00	0,00	0,00
94	Lešení a stavební výtahy	0,00	0,00	0,00
95	Dokončovací konstrukce na po. stavbách	0,00	0,00	0,00
99	Staveništní přesun hmot	-6 078,43	-5 968,13	110,30
711	Izolace proti vodě	0,00	0,00	0,00
712	Povlakové krytiny	5 188,00	5 188,00	0,00
713	Izolace tepelné	72 608,27	56 201,50	-16 406,77
721	Vnitřní kanalizace	0,00	0,00	0,00
722	Vnitřní vodovod	0,00	0,00	0,00
725	Zařizovací předměty	0,00	0,00	0,00
731	Kotelny	0,00	0,00	0,00
736	Podlahové vytápění	0,00	0,00	0,00
762	Konstrukce tesařské	0,00	0,00	0,00
764	Konstrukce klempířské	0,00	0,00	0,00
765	Krytiny tvrdé	17 770,65	0,00	-17 770,65
766	Konstrukce truhlářské	104 573,42	76 391,38	-28 182,04
771	Podlahy z dlaždic a obklady	0,00	0,00	0,00
775	Podlahy vlysové a parketové	0,00	0,00	0,00
781	Obklady keramické	0,00	0,00	0,00
783	Nátěry	0,00	0,00	0,00
784	Malby	0,00	0,00	0,00
786	Čalounické úpravy	199 164,00	174 105,00	-25 059,00
M21	Elektromontáže	0,00	0,00	0,00
M24	Montáže vzduchotechnických zařízení	95 000,00	105 000,00	10 000,00
VN	Vedlejší náklady	20 000,00	20 000,00	0,00

Tabulka č. 15 – Porovnání vícenákladů na Dům 1 a na Dům 2

Zdroj: [autor]

5.4 ANALÝZA VÝSLEDKŮ

Předmětem této práce bylo posouzení návratnosti investice do pasivní stavby oproti standardní stavbě. Adekvátně k tomuto účelu byly vybrány dva domy, kde byly formou podrobné cenové kalkulace stanoveny náklady na běžnou, nízkoenergetickou stavbu. Následně bylo iteračním postupem nutné stanovit konstrukční a materiálové změny, aby bylo dosaženo parametrů pasivní budovy. V programu Energie 2016 byly pro jednotlivé varianty stanovené množství dodané roční energie a také ověřeny parametry pasivních variant. Následně bylo možné zkoumat návratnost investice z různými faktory, které do výpočtů vstupovaly.

První otázkou bylo tedy jaké je vlastně navýšení investičních nákladů u pasivní stavby. Oba zkoumané domy se z tohoto pohledu příliš nelišily, první stavba si vyžádala vícenáklady ve výši 13,5 %, u stavby druhé se jednalo o 11,3 %. Tyto hodnoty velice dobře odpovídají výchozím předpokladům z kapitoly 4.6, kde jsou tyto vícenáklady dle ostatních výzkumů předpokládány mezi 5 a 17 %. Tato hodnota je však naprosto individuální a záleží na konkrétní stavbě, lokalitě, podmínkách a v neposlední řadě na požadavcích investora. Zde je především zásadní otázkou, na jakou stavbu určujeme vícenáklady. U pasivních domů velice záleží na celkové koncepci stavby a naprosto zásadním způsobem ji ovlivňuje mnoho faktorů, od nákupu pozemku, přes kvalitní projekt, až po bezchybnou realizaci. Je dosti možné, že pokud bychom vzali téměř ideálně koncepčně navrženou a promyšlenou pasivní stavbu, které bychom zhoršili tepelně technické vlastnosti obálky a odebrali rekuperaci tepla jen do té míry, abychom přesně nesplnili pasivní požadavky. Tak případný rozdíl vícenákladů mezi takovou stavbou a stavbou pasivní bude poměrně hluboko pod hranicí 10 %. Naopak parametrů pasivního standardu nelze dosáhnout u každé stavby. Názor laické veřejnosti je často takový, že pasivní dům je pouze velmi dobře zateplená stavba, ve které se navíc nedá otevřít okno kvůli vzduchotechnice. To ovšem není pravda a dům, který je dispozičně nevhodný, případně je naprosto nevhodně situován na pozemku, těchto parametrů může dosáhnout až po velice nákladných úpravách, nebo je dokonce možné že těchto parametrů nebude možné dosáhnout vůbec. Tato skutečnost je jednoznačně patrná na množství úprav u první stavby, která byla pro tyto účely méně vhodná. U návrhu a stavby pasivního domu je tedy naprosto stěžejní obrátit se na odborníky, kteří mají zkušenosti. Kvalitní návrh a koncepce je klíčová při minimalizaci vícenákladů.

Dalším faktorem, který do určení návratnosti vstupuje je samotná spotřeba energie. Výpočtem lze stanovit průměrnou roční spotřebu, ale z dlouhodobého hlediska se nejedná o pevnou hodnotu, kterou lze zaručit. Jednak je tato vypočtená hodnota výrazně závislá na podmínkách během roku a v neposlední řadě ji významně ovlivňují sami uživatelé. Hodnota potřeby tepla na vytápění je silně ovlivněna provozem v domě, závisí na počtu osob, na jejich

činnosti a době kterou domě tráví. Další významnou roli hrají i vnitřní tepelné zisky, jako je například vaření. Naopak nevhodné větrání okny v zimních měsících může způsobovat velké tepelné ztráty. V neposlední řadě, řádná a pravidelná údržba všech technických systémů a stavby obecně může potřebu energie na vytápění ovlivnit.

Zcela zásadní význam má, při stanovení návratnosti této investice, cena elektrické energie. Jedná se také o parametr, u kterého se velmi složitě určuje jeho budoucí vývoj. I cena energie v tomto roce se nedá jednoznačně stanovit, záleží totiž na konkrétních podmínkách a smlouvě. Velmi pravděpodobné je vzhledem k vývoji za posledních více než deset let, že ceny energií budou nadále stoupat. Vypočtená hodnota 8,61 % je velmi blízko hodnotě, která je uvedena v dalších výzkumech a předpokládá tento vývoj do 10 %. (29) V závislosti na ceně energie se však může návratnost takovéto investice lišit i o 50 %, jak je vidět na předcházejících výpočtech.

Na základě výše zjištěných údajů lze stanovit návratnost takovéto investice. Poměrně dobře patrné je to na nejzákladnějším ukazateli prosté návratnosti, případně návratnosti se zohledněním vývoje ceny energie. Tato návratnost se bez využití dotace a změny zdroje tepla pohybuje v rozmezí 11 až 18,5 let, v závislosti na vývoji cen energie. Při změně zdroje tepla na tepelné čerpadlo, který si však vyžádá další investiční náklady, zde nedošlo bez dotace a zohlednění vývoje cen ke zkrácení návratnosti. Je nutno poznamenat, že topný faktor čerpadla je uvažovaný konzervativní hodnotou 2. Například u prvního domu by bylo nutné uvažovat topný faktor 2,7, aby byla návratnost vzhledem k dodatečným nákladům stejná. Této hodnoty by kvalitní tepelné čerpadlo mělo dosáhnout. V případě, že díky využití této technologie dosáhneme na dotaci, tak se doba návratnosti rapidně zkracuje. Ale je zde otázkou k zamyšlení, zda by se tepelné čerpadlo pro pasivní dům bez dotace vyplatilo – přece jen se jedná o další technologii, která mimo jiné potřebuje údržbu a má jistou životnost. V závislosti na vývoji cen se návratnost tepelným čerpadlem pohybuje od 11,5 do 19,5 let, respektive 9,6 až 11,8 let s dotací. Rozptyl návratnosti je tedy přibližně deset let v závislosti na okolnostech a konkrétním případě se pohybuje od 9,6 let až po 19,5 roku. Zde je opět naplněno očekávání z kapitoly 4.6, kde je na základě dalších výzkumů předpokládaná návratnost mezi 8 a 25 lety.

Při pohledu na tuto investici čistě z ekonomického hlediska, pomocí ukazatelů čisté současné hodnoty a vnitřního výnosového procenta je opět patrná závislost na konkrétní variantě. Návratnost této investice je podle varianty mezi 10 a 40 lety. Z tohoto ekonomického pohledu by bylo pouze na investorovi, zda by se rozhodl peníze investovat do pasivní stavby, nebo jiné vhodnější investice.

6 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo posouzení návratnosti investice do pasivní stavby oproti standardní stavbě. Důvodů je několik, jednak je to neustálé zdražování cen energií, dále také legislativní tlak na budovy s nízkou spotřebou energie a v neposlední řadě také šetrnost k životnímu prostředí. Úkolem této práce bylo tedy prozkoumat problematiku investice do pasivní stavby a porovnat tuto investici se standardním nízkoenergetickým domem. Adekvátně k tomuto účelu byly vybrány dva domy, kde byly náklady formou podrobné cenové kalkulace stanoveny na běžnou, nízkoenergetickou stavbu. Následovalo nutné stanovení úprav a vyčíslení vícenákladů na pasivní stavbu. V programu Energie 2016 byla pro jednotlivé varianty stanovena roční spotřeba energie na vytápění. Posledním parametrem nutným pro výpočet ekonomické návratnosti je cena energie. Zde bylo nutné uvažovat i s předpokládaným vývojem ceny energie, který se opírá o data a historické ceny energie v posledních patnácti letech. Následně bylo možné zkoumat návratnost investice z různými faktory, které do výpočtů vstupovaly.

Jako první byla stanovena výše nutné investice v podobě vícenákladů. U dvou konkrétních příkladů se jednalo o 13,5 a 11,3 %. Na základě těchto vícenákladů, rozdílu průměrné spotřeby tepla na vytápění u pasivního a nízkoenergetického domu, a předpokládané ceny energie bylo možné stanovit dobu návratnosti. Ve výpočtech byly zohledněny různé varianty vývoje ceny, zdroje vytápění a také možnost dotace. V závislosti na variantě a stavbě byla vypočtena návratnost mezi 9,6 a 19,5 lety. Stanovená velikost vícenákladů i doba návratnosti je při konfrontaci s dalšími výzkumy rámcově shodná a lze tedy říci, že výsledky odpovídají předpokladům. Předpokládaná životnost technologií je minimálně 30 let a v této době jsou v práci zohledněny i další náklady na jejich obnovu. Ostatní stavební a technické úpravy nevyžadují oproti standardnímu domu výraznější údržbu a nevyznačují se výrazně kratší životností. V horizontu 50 let by stavba neměla vyžadovat žádné výrazné náklady mimo běžnou údržbu. Z tohoto pohledu lze návratnost investice považovat za dostatečnou, protože v dalších desetiletích bude tato investice generovat příjmy, respektive úspory nákladů, což je podloženo i ekonomickými ukazateli. Na základě těchto ukazatelů lze říci, že na investici neproděláme v horizontu přibližně 10 až 40 let. To se odvíjí od zvolené varianty, předpokladu vývoje cen a diskontní sazby.

Mimo samotnou návratnost, úsporu a případné zhodnocení peněz, přinášejí pasivní stavby mnohé další výhody. Tyto výhody se do ekonomické návratnosti nedají započítat. V první řadě tyto vícenáklady zároveň zvyšují hodnotu stavby jako nemovitosti. Další faktory je samotné snížení závislosti objektu na energetických společnostech. V neposlední řadě tyto domy ze svojí podstaty přenášejí určitý nadstandard v podobě komfortnějšího a často i zdravějšího prostředí k životu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- (1) TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. První tištěná verze. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.
- (2) BROTKOVÁ, Klára a Aleš BROTEK. *Jak se žije v nízkoenergetických a pasivních domech*. První vydání. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3969-4.
- (3) SMOLA, Josef. *Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů*. První vydání. Praha: Grada, 2011. Stavitel. ISBN 978-80-247-2995-4.
- (4) Nejlépe vybudované archeologické naleziště Skara Brae. *Jen pro cestovatele.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.jenprocestovatele.cz/nejlepe-vybudovane-archeologicke-naleziste-skara-brae-ceka-na-vas-ve-skotsku/>
- (5) Árbær Open Air Museum. *In: Guide to Iceland* [online]. b.r. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://guidetoiceland.is/reykjavik-guide/top-11-museums-in-reykjavik>
- (6) Fram - Ships of the Polar Explorers. *Cool Antarctica* [online]. b.r. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: https://www.coolantarctica.com/Antarctica%20fact%20file/History/antarctic_ships/fram.php
- (7) LEVY, Brandon. *The First U.S. House to Go Solar*. Technology Review [online]. 2017 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.technologyreview.com/s/604079/the-first-us-house-to-go-solar/>
- (8) Saskatchewan Conservation House. *PASSIPEDIA: The Passive House Resource* [online]. b.r. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: https://passipedia.org/basics/the_passive_house_-_historical_review/pioneer_award/saskatchewan_conservation_house
- (9) FEIST, Wolfgang. *25 Years of Passive House in Darmstadt Kranichstein*. In: Passivhaus Institut [online]. Darmstadt, 2016 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://www.blowerdoor.com/fileadmin/BlowerDoorEN/_Dokumente/2017_12_Report_25years_Kranichstein_.pdf
- (10) PRVNÍ PASIVNÍ DŮM BYL V ČR CERTIFIKOVÁN V DARMSTADTU. Centrum pasivního domu [online]. 2010 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.pasivnidomy.cz/prvni-pasivni-dum-v-byl-cr-certifikovan-v-darmstadt/t481>
- (11) Podíl nových pasivních domů v ČR. *Ekolist.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/podil-novych-pasivnich-domu-v-cr-loni-vzrostl-na-6-5-procenta>
- (12) RUBINOVÁ, Olga. *Pasivní domy a trvale udržitelná výstavba*. V Brně: Mendelova univerzita, 2014. ISBN 978-80-7375-964-3.

- (13) FEIST, Wolfgang. *15th Anniversary of the Darmstadt - Kranichstein Passive House: Factor 10 is a reality*. In: Passivhouse Institute [online]. Darmstadt, 2006 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://passiv.de/former_conferences/Kran/First_Passive_House_Kranichstein_en.html
- (14) NOVÁK, Jiří. *Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-1953-5.
- (15) CORNER, Donald, Jan C. FILLINGER a Alison G. KWOK. *Passive house details: solutions for high performance design*. New York: Routledge, 2017. ISBN 978-1-138-95825-8.
- (16) ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov: Část 2: požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- (17) MERTENS, Florian Arnold. *Das ökonomische Potential von Passivhaus-Technologien bei der energetischen Sanierung des Wohnungsbestands*. Erstausgabe. Hamburg: Verlag GmbH, 2007. ISBN 978-3-8366-2019-8.
- (18) PREGIZER, Dieter. *Zásady pro stavbu pasivního domu*. První vydání. Praha: Grada, 2009. Stavitel. ISBN 978-80-247-2431-7.
- (19) Dřevo a stavby. *Praha: PRO VOBIS, s.r.o., 2018, 2018(1)*. ISSN 1803-6996.
- (20) HUDEC, Mojmír, Blanka JOHANISOVÁ a Tomáš MANSBART. *Pasivní domy z přírodních materiálů*. První vydání. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4243-4.
- (21) ŠUBRT, Roman. *Tepelné mosty: pro nízkoenergetické a pasivní domy : 85 prověřených a spočítaných stavebních detailů*. První vydání. Praha: Grada, 2011. Stavitel. ISBN 978-80-247-4059-1.
- (22) VAVERKA, Jiří. *Stavební tepelná technika a energetika budov*. Brno: VUTIUM, 2006. ISBN 80-214-2910-0.
- (23) Nová zelená úsporám - O programu. *Nová zelená úsporám* [online]. b.r. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/o-programu/>
- (24) FRIEDLOB, George a Franklin PLEWA. *Understanding return on investment*. Canada: John Wiley and Sons, 1996. ISBN 0-471-10372-0.
- (25) SCHNEIDEROVÁ HERALOVÁ, Renáta. *Udržitelné pořizování staveb: ekonomické aspekty*. První vydání. Praha: Wolters Kluwer Česká republika, 2011. ISBN 978-80-7357-642-4.
- (26) SCHNIEDERS, Schnieders a Hermelink HERMELINK. *CEPHEUS results: measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building*. Velká Británie, 2006, (37). ISSN 0301-4215.
- (27) AUDENAERT, A, S.H. DE CLEYN a B. VANKERCKHOVEB. *Economic analysis of passive houses and low-energy houses compared with standard houses*. *Energy Policy*. Belgium: INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY, 2007, (36). DOI: Economic analysis of passive houses and low-energy houses compared with standard houses. ISSN 47-55.

- (28) MAHDAVI, Ardeshir a *Eva-Maria DOPPELBAUER*. *A performance comparison of passive and low-energy buildings*. Energy Policy 36. 2010. ISSN 0378-7788.
- (29) GALVIN, Ray. *Are passive houses economically viable? A reality-based, subjectivist approach to cost-benefit analyses*. Energy and Buildings. Německo, 2014, (80). ISSN 49–157.
- (30) JISOO, Shim, *Song DOOSAM a Kim JOOWOOK*. *The Economic Feasibility of Passive Houses in Korea*. MDPI. Suwon: Open Access Journal, 2018, , 1-16.

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1 – Základní požadavky pro energetiky nulové budovy, zdroj: [ČSN 73 0540-2].....	26
Tabulka č. 2 – Základní požadavky na pasivní budovy, zdroj: [ČSN 73 0540-2]	27
Tabulka č. 3 – Energetické standardy výstavby, zdroj: [Centrum pasivního domu]	28
Tabulka č. 4 – Požadované hodnoty součinitelů prostupu tepla podle normy ČSN 73 0540-2 (2011); [(20, s. 14)]	38
Tabulka č. 5 – Požadované parametry budov - NZU	45
Tabulka č. 6 – Rozdílné náklady na standardní a pasivní stavbu	57
Tabulka č. 7 – Princip výpočtu v jednotlivých letech	59
Tabulka č. 8 – Požadované parametry budov – B1 - NZU	64
Tabulka č. 9 – Čistá současná hodnota NPV + kumulované peněžní toky CF.....	68
Tabulka č. 10 – Čistá současná hodnota NPV + kumulované peněžní toky CF; tepelné čerpadlo a NZU Zdroj: [autor]	69
Tabulka č. 11 – Porovnání vnitřního výnosového procenta IRR pro jednotlivé varianty	70
Tabulka č. 12 – Čistá současná hodnota NPV + kumulované peněžní toky CF-D2	82
Tabulka č. 13 – Čistá současná hodnota NPV + kumulované peněžní toky CF; tepelné čerpadlo a NZU-D2.....	83
Tabulka č. 14 – Porovnání vnitřního výnosového procenta IRR pro jednotlivé varianty-D2	84
Tabulka č. 15 – Porovnání vícenákladů na Dům 1 a na Dům 2	86

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1 – Porovnání energetických standardů; Zdroj: [(19, s. 115)].....	29
Graf č. 2 – Porovnání nákladů a spotřeby v ND a PD;.....	58
Graf č. 3 – Vývoj ceny energie	60
Graf č. 4 – Prostá návratnost bez vývoje cen energie – D1.....	62
Graf č. 5 – Návratnost investice se zohledněním vývoje cen energie (8,61 %) – D1.....	62
Graf č. 6 – Návratnost investice se zohledněním vývoje cen energie (8,61 %; 25let) – D1	63
Graf č. 7 – Návratnost investice se zohledněním vývoje cen energie (4 %) – D1.....	63
Graf č. 8 – Prostá návratnost investice, tepelné čerpadlo + NZU – D1	65
Graf č. 9 – Návratnost investice se zohledněním vývoje cen, tepelné čerpadlo + NZU – D1	65
Graf č. 10 – Návratnost investice se zohledněním vývoje cen, tepelné čerpadlo + NZU (25 l.) – D1	66
Graf č. 11 – Porovnání nákladů a spotřeby v ND a PD - D2;	75
Graf č. 12 – Prostá návratnost bez vývoje cen energie – D2	77
Graf č. 13 – Návratnost investice se zohledněním vývoje cen energie (8,61 %) – D2	77
Graf č. 14 – Návratnost investice se zohledněním vývoje cen energie (8,61 %; 25 let) – D2.....	78
Graf č. 15 – Návratnost investice se zohledněním vývoje cen energie (4 %; 25 let) – D2.....	78
Graf č. 16 – Prostá návratnost investice, tepelné čerpadlo + NZU – D2.....	79
Graf č. 17 – Návratnost investice se zohledněním vývoje cen, tepelné čerpadlo + NZU – D2.....	80
Graf č. 18 – Návratnost investice se zohledněním vývoje cen, tepelné čerpadlo + NZU; 25 l. – D2	80

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1 – Fotografie Skara Brae – osada z období neolitu	13
Obrázek č. 2 – Fotografie Muzeum Arbaer, Reykjavík, Island	14
Obrázek č. 3 – Fotografie Trojstěžníku Fram	15
Obrázek č. 4 – Fotografie Solárního domu M.I.T. Solar house #1	16
Obrázek č. 5 – Fotografie domu DTH zero – energy v Kopenhagenu	17
Obrázek č. 6 – Schéma Conservation House v Kanadě	18
Obrázek č. 7 – Fotografie prvního pasivního domu - Německo	19
Obrázek č. 8 – Ekologická stopa na osobu [Gha]	22
Obrázek č. 9 – Exteriérový termografický snímek prvního pasivního domu (13)	23
Obrázek č. 10 – Třídy energetické náročnosti budov - průkaz	25
Obrázek č. 11 – Zobrazení prostupu tepla okny	35
Obrázek č. 12 – Osazení okna	35
Obrázek č. 13 – Schéma konstrukce nízkoenergetického a pasivního domu	37
Obrázek č. 14 – Termosnímek fasády a kontaktního zateplovacího systému	40
Obrázek č. 15 – Schéma rekuperačního výměníku tepla	42
Obrázek č. 16 – Schéma principu pasivního domu	43
Obrázek č. 17 – Severní pohled na fasádu	49
Obrázek č. 18 – Dispoziční řešení	49
Obrázek č. 19 – Skladba jednotlivých vrstev konstrukce	50
Obrázek č. 20 – Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí	51
Obrázek č. 21 – Vyhodnocení konstrukce	52
Obrázek č. 22 – Půdorysy 1.NP a 2.NP	71

SEZNAM ZKRATEK

PHPP.....	Passive House Palnning Package
GHa.....	Gigahektary
PENB.....	Průkaz energetické náročnosti budov
A.....	Plocha
V.....	Objem
PD.....	Pasivní dům
ND.....	Normální dům
PHI	Passive House Instittut
ZZT.....	Zpětné získávání tepla
NZU	Nová zelená úsporám
D1.....	Dům 1
D1	Dům2
NPV.....	Net Present Value
IRR.....	Internal Rate of Return

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1	Podrobný položkový rozpočet Dům 1 - NV
Příloha č. 2	Podrobný položkový rozpočet Dům 1 - PV
Příloha č. 3	Podrobný položkový rozpočet Dům 2 - NV
Příloha č. 4	Podrobný položkový rozpočet Dům 2 - PV
Příloha č. 5	Energetické posouzení pro Dům 1 - NV
Příloha č. 6	Energetické posouzení pro Dům 1 - PV
Příloha č. 7	Energetické posouzení pro Dům 2 - NV
Příloha č. 8	Energetické posouzení pro Dům 2 - PV
Příloha č. 9	Část projektové dokumentace – Dům 1
Příloha č. 10	Část projektové dokumentace – Dům 2
Příloha č. 11	Výpočty prostupu tepla konstrukcemi